

LA MALADIE DE LYME AU QUÉBEC : UNE ANALYSE DES INTERVENTIONS SELON UNE PERSPECTIVE DE
DÉVELOPPEMENT DURABLE

Par
Paola Stella Rey Valderrama

Essai présenté au Centre universitaire de formation
en environnement et développement durable en vue
de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.)

Sous la direction de madame Mélissa Généreux
et la codirection de madame Geneviève Baron

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Février 2018

“Any harm done to the environment, therefore is a harm done to humanity”

« Tout mal occasionné à l’environnement est par conséquent, un mal occasionné à l’humanité »

-Jorge Mario Bergoglio

SOMMAIRE

Mots-Clés : maladie de Lyme, interventions, développement durable, changement climatique, tique, cerf de Virginie, souris à pattes blanches, *Ixodes scapularis*, environnement, Québec, Estrie, Canada

Depuis 2011, les cas de la maladie de Lyme au Québec ont augmenté dramatiquement et la maladie a atteint une grande expansion dans le territoire québécois. Ce qui précède est dû aux modifications de l'écosystème et aux changements climatiques. Ces phénomènes ont favorisé les interactions entre l'humain et les trois espèces qui font partie du cycle de transmission de la maladie de Lyme : la tique à pattes noires, le cerf de Virginie et la souris à pattes blanches. Pour combattre la maladie dans le territoire de l'Estrie, des interventions ciblant les personnes ont été divulguées et promues par la Direction de santé de l'Estrie. Cependant, jusqu'à aujourd'hui les interventions ciblant l'environnement n'ont pas été introduites dans la région.

L'objectif principal de cet essai est d'analyser de manière systémique les mesures qui n'ont pas été mises en place dans la région de l'Estrie, et qui ont été appliquées ailleurs en obtenant des résultats positifs pour le contrôle et la prévention de la maladie de Lyme. Cette analyse a été basée sur les trois piliers du développement durable, s'agissant des piliers écologique, économique et social.

D'abord, une recherche dans la littérature scientifique a été faite afin d'identifier les interventions appliquées ailleurs dans la province. Par la suite, ces interventions ont été classifiées dans quatre groupes selon l'objectif ciblé par la mesure, ces groupes sont : les interventions ciblant la tique, les interventions ciblant les cerfs, les interventions ciblant la souris et les modifications du paysage. Pour chaque groupe une description qui comprend l'efficacité et le fonctionnement a été faite. Ensuite, compte tenu l'objectif de ce travail, une analyse dans une perspective de développement durable a été faite pour chaque intervention. De plus, un bref portrait réglementaire a été donné pour chaque groupe de mesures et une courte analyse des mesures appliquées actuellement au Québec sera présentée.

Avec ce travail, il est possible de conclure qu'afin d'atteindre une réduction de l'expansion de la maladie et des cas dans la région, il est nécessaire de mettre en place différents types d'interventions. Finalement, pour la sélection des mesures les plus appropriées, il est essentiel d'avoir une étude de la région.

SUMMARY

Key Words: Lyme disease, interventions, sustainable development, climate change, tick, white-tailed deer, white-footed mice, *ixodes scapularis*, environment, Québec, Estrie, Canada

Since 2011, the number of cases of Lyme disease in Québec has increased drastically and the disease has achieved a vast expansion over the territory. The foregoing, as a result of the modifications in the ecosystem and climate change. These phenomena have favoured the interactions between humans and the three-main species of the Lyme disease transmission cycle which are: the black-legged tick, the white-tailed deer and the white-footed mice. To fight the disease in the Estrie Region, multiple interventions which focus on the people have been disclosed and promoted by the Direction de santé de l'Estrie. Nevertheless, until today, the interventions that target the environment, have not been introduced.

The main objective of this essay is to analyze, in a systematic way, the measures which have yet not been applied to the Estrie Region, and that had obtained positive results for controlling and preventing the Lyme disease outside the province. The analysis has been done taking into account the three cornerstones of the sustainable development which are: the ecology, the economy and the social pillars.

First, a research in the scientific literature has been made in order to identify the interventions that have been applied outside the province. Thereafter, the interventions were classified in four groups according to the target, these groups are: the interventions that target the tick, the interventions that target the deer, the interventions that target the mouse and the landscape modifications. For each group, a description that includes the effectiveness and the functioning has been made. Afterwards, taking into account the main objective of this paper, the sustainable development based analysis was built for each intervention. Additionally, a brief legal framework is given for each interventional group and a short analysis about the interventions that are presently applied in Québec is presented.

With this paper, it is possible to conclude that in order to decrease the expansion and the number of cases of Lyme disease in the region, it is necessary to set up and establish different types of interventions. Finally, for choosing the most appropriate interventions for the region, a previous study of the area is essential.

REMERCIEMENTS

Je tiens d’abord à remercier Dre Mélissa Généreux et Dre Geneviève Baron pour votre direction et supervision. Vos conseils, commentaires et encouragements ont enrichi non seulement ce travail, mais aussi ma personne. Les moments vécus avec la Direction de santé publique de l’Estrie m’ont doté professionnellement d’expériences uniques que je vais toujours garder dans ma mémoire.

Je voudrais également remercier Karine Vézina et Judith Vien pour votre orientation vers l’élaboration de cet essai.

Je remercie ma grande amie Guilenne Toro, qui m’accompagne pendant la longue période de rédaction et qui m’a guidée avec la correction du français.

Je remercie l’Université de Sherbrooke et l’Agence des relations internationales (ARIUS) pour la création de l’exemption des droits de scolarité majorés pour les étudiantes et étudiants internationaux, de laquelle j’ai été bénéficiaire pendant mes études de deuxième cycle.

Finalement, je remercie ma mère, Martha Stella Valderrama, et mon père, Henry Fernando Rey, pour leur soutien émotionnel et économique pendant la réalisation de la maîtrise.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. LA MALADIE DE LYME DANS LE MONDE	4
1.1 Cycle de transmission de la maladie de Lyme	5
1.2 Les symptômes de la maladie de Lyme	7
1.3 Les coûts associés à la maladie de Lyme	9
1.4 Les espèces de grande importance dans le cycle de transmission de la maladie	9
1.4.1 La tique (<i>Ixodes scapularis</i>)	10
1.4.2 Le cerf de Virginie (<i>Odocoileus virginianus</i>)	14
1.4.3 La souris à pattes blanches (<i>Peromyscus leucopus</i>)	16
2. LA MALADIE DE LYME AU QUÉBEC	18
2.1 Diagnostic et traitement de la maladie de Lyme au Québec	22
2.2 Les effets des changements climatiques sur la maladie de Lyme au Québec	23
2.3 Changements dans l'écosystème qui affectent la population des tiques	26
2.4 Mesures de prévention actuellement utilisées dans la région de l'Estrie	29
3. MÉTHODOLOGIE	32
3.1 Recherche des mesures pour combattre la maladie de Lyme à l'extérieur du Québec	32
3.2 Analyse dans un contexte de développement durable	33
4. ANALYSE DES INTERVENTIONS MISES EN PLACE AU QUÉBEC	36
4.1 Habillement	36
4.2 Utilisation des insectifuges	37
4.3 Évitement des zones à grand risque	38
4.4 Retrait de la tique	38
5. INTERVENTIONS ENVIRONNEMENTALES	39
5.1 Interventions ciblant la tique	39
5.1.1 Pesticides chimiques	39
5.1.2 Substances chimiques d'origine naturelle	40
5.1.3 Champignons entomopathogènes : <i>Metarhizium anisopliae</i>	41
5.2 Les mesures orientées vers la tique dans une perspective du développement durable	42
5.2.1 Dimension écologique	42

5.2.2 Dimension sociale.....	44
5.2.3 Dimension économique	45
5.3 Règlementation associée aux mesures dirigées à la tique.....	45
5.4 Interventions ciblant les chevreuils	46
5.4.1 Contrôle de la population de cerfs.....	46
5.4.2 Clôtures à cerfs.....	47
5.4.3 Dispositif : <i>4-Poster</i>	48
5.5 Les interventions ciblant les cerfs dans une perspective de développement durable	49
5.5.1 Dimension écologique.....	49
5.5.2 Dimension sociale.....	52
5.5.3 Dimension économique	53
5.6 Règlementation associée aux mesures ciblant le cerf.....	54
5.7. Interventions ciblant la souris	54
5.7.1 <i>Tick Tube</i>	54
5.7.2 Boîtes d'appât : <i>SELECT Tick Control System (TCS)</i>	56
5.8 Les interventions ciblant la souris dans une perspective de développement durable	57
5.8.1 Dimension écologique.....	57
5.8.2 Dimension sociale.....	59
5.8.3 Dimension économique	60
5.9 Règlementation associée aux mesures ciblant la souris	60
5.10 Modifications du paysage	61
5.11 Les modifications du paysage dans une perspective de développement durable	63
5.11.1 Dimension écologique.....	64
5.11.2 Dimension sociale.....	65
5.11.3 Dimension économique	65
5.12 Règlementation associée aux modifications du paysage	65
6. INTERVENTIONS POUR L'AVENIR	66
6.1 Huiles essentielles.....	66
6.2 Vaccin pour la souris	66
6.3 Le <i>TickBot</i>	67
6.4 Vaccin humain.....	68

CONCLUSION.....	69
RÉFÉRENCES.....	71
ANNEXE 1 - CARTES DES CAS RAPPORTÉS AUX ÉTATS-UNIS EN 2001 ET 2015	85
ANNEXE 2 - STADES ET SYMPÔMES DE LA MALADIE DE LYME.....	86
ANNEXE 3 - MESSURES DE PROTECTION QUI DOIVENT ÊTRE SUIVIES PAR LES PERSONNES QUI TRAVAILLENT AVEC LA PERMÉTHRINE À 10%	87
ANNEXE 4 - PROTOCOLE À SUIVRE EN CAS DE CONTACT AVEC LA PERMÉTHRINE À 10%.....	88
ANNEXE 5 - ÉTIQUETTE DU DAMMINIX	89
ANNEXE 6 - ÉTIQUETTE DU TICK CONTROL SYSTEM (TCS).....	90
ANNEXE 7 - FICHE TECHNIQUE SUR LES EXIGENCES EN MATIÈRE D'IMPORTATION COMMERCIALE DE PRODUITS ANTIPARASITAIRES.....	92

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1.1	La triade épidémiologique de la maladie de Lyme	5
Figure 1.2	Cycle de transmission de la bactérie <i>B. burgdorferi</i> à l'humain	6
Figure 1.3	Probabilité cumulative de transmission de <i>B. burgdorferi</i> à une souris selon la durée d'adhésion de la tique	7
Figure 1.4	Érythème migrant	8
Figure 1.5	Présence de <i>I. scapularis</i> au Canada (cercles rouges) selon le rapport de surveillance de 2008 à 2012.	10
Figure 1.6	Présence de <i>I. pacificus</i> au Canada (2004).....	11
Figure 1.7	Distribution des principales tiques capables de transmettre la maladie de Lyme à l'extérieur du Canada	11
Figure 1.8	Différents stades de <i>I. scapularis</i> et taille en comparaison avec une pièce d'un dime de dollar américain.....	12
Figure 1.9	Cycle de vie de <i>I. scapularis</i>	13
Figure 1.10	Répartition du <i>O. virginianus</i> au Québec	15
Figure 1.11	Relation entre <i>I. scapularis</i> et différents micromammifères.	16
Figure 1.12	Répartition de la souris à pattes blanches en Amérique du Nord et au Québec	17
Figure 2.1	Nombre de cas déclarés annuellement au Québec depuis 2004	19
Figure 2.2	Carte des régions à risque d'acquisition de la maladie de Lyme dans la région de l'Estrie (juillet 2017)	19
Figure 2.3	Nombre de cas déclarés dans la région de l'Estrie vs Québec	20
Figure 2.4	Nombre de cas déclarés dans la région de l'Estrie en 2016 par mois.	21
Figure 2.5	Cas déclarés dans le RLS de la Pommeraie et le RLS de la Haute-Yamaska en 2016.	21
Figure 2.6	Extension de la population de <i>I. scapularis</i> selon les modèles de simulation pour les années 2020, 2050 et 2080	24
Figure 2.7	Cartes de risque selon l'expansion de <i>I. scapularis</i> , vecteur de la maladie de Lyme.....	25
Figure 2.8	Effets de la fragmentation et de l'augmentation de la température associées à la maladie de Lyme	27
Figure 2.9	Effets de l'augmentation de la température et de la chasse associées à la maladie de Lyme	28

Figure 2.10	Effets du changement climatique sur la migration des oiseaux associés à la maladie de Lyme	28
Figure 2.11	Affiche informative au Québec.....	29
Figure 5.1	Clôture à chevreuil à 45°	48
Figure 5.2	Dispositif : <i>4-Poster</i>	49
Figure 5.3	<i>Damminix</i> tube.....	55
Figure 5.4	Dispersion des boulettes de coton avec la perméthrine du <i>Damminix</i> par la souris.....	55
Figure 5.5	Boîtes d'appât utilisées pour l'application du fipronil.....	56
Figure 5.6	Installation du TCS dans une résidence à proximité de l'écotone.....	57
Figure 5.7	Interventions pour réduire le risque de la maladie de Lyme dans une maison proche de l'écotone.....	62
Figure 5.8	Avant et après les modifications du paysage dans une zone de récréation.	63
Figure 5.9	Construction non recommandable pour les bordures ou les sentiers	64
Figure 6.1	<i>TickBot</i>	67
Tableau 3.1	Banques de données et mots utilisés dans la recherche.....	32
Tableau 3.2	Considérations pour l'analyse.....	34
Tableau 3.3	Mesures de contrôle et de prévention de la maladie de Lyme.....	34
Tableau 5.1	Substances pour combattre <i>I. scapularis</i> et le nombre de produits homologués qui les contiennent	46
Tableau 5.2	Coûts et couverture du <i>Tick Tube</i>	60
Tableau 5.3	Modifications du paysage	61

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

ARLA	Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire
ASPC	Agence de la santé publique du Canada
CCQ	<i>Code civil du Québec</i>
CDC	<i>Centers for Disease Control and Prevention</i>
CFSPH	<i>The Center for Food Security & Public Health</i>
CHP	<i>Center for Health Protection</i>
CISSSO	Centre intégré de santé et de services sociaux de l'Outaouais
CSSSLaval	Centre intégré de santé et de services sociaux de Laval
DEET	N,N-diéthyl-3-méthylbenzamide
DGEFH	Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats
ECDC	<i>European Center for Disease Prevention and Control</i>
ELISA	<i>Enzyme-linked immunosorbent assay</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
GABA	Acide γ -aminobutyrique
GES	Gaz à effets de serre
GIEC	Intergouvernemental sur l'évolution du climat
IAMAT	<i>International Association for Medical Assistance to Travellers</i>
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
LPA	<i>Loi sur les produits antiparasitaires</i>
LSPQ	Laboratoire de santé publique du Québec
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MFFP	Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
MRC	Municipalité Régionale de Comté
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux
NCBI	<i>National Center for Biotechnology Information</i>
NIID	<i>National Institute of Infectious Diseases</i>
NPIC	<i>National Pesticide Information Center</i>
NRCS	<i>Natural Resources Conservation Service</i>

OSPA	Protéine A de surface
PEHD	Polyéthylène haute densité
PTLDS	<i>Post-Treatment Lyme Disease Syndrome</i>
RLS	Territoires des réseaux locaux de services
SAGE	Santé, Agriculture et Environnement
TCP	3,5,6-trichloropyridin-2-ol
TCS	<i>SELECT Tick Control System</i>
UQAC	L'Université du Québec à Chicoutimi
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>
WHO	<i>World Health Organisation</i>

INTRODUCTION

L'impact sur la santé humaine des changements environnementaux est de plus en plus discuté dans la littérature scientifique. Des phénomènes comme les changements climatiques ont favorisé l'émergence de nouvelles maladies, et l'expansion et l'augmentation de bien d'autres. De ce fait, la réalisation des interventions de la part des gestionnaires de la santé publique en union avec des gestionnaires de l'environnement est indispensable, afin d'obtenir un contrôle adéquat des maladies associées ou affectées par les changements des écosystèmes et du climat.

La maladie de Lyme a été décrite pour la première fois en 1970 dans l'État du Connecticut (États-Unis). Elle était présentée comme une maladie sensible aux antibiotiques, caractérisée par des douleurs articulaires et des lésions cutanées en forme annulaire avec un pic de cas pendant l'été et l'automne (Steere et al., 1977). Pendant les années 1980, le scientifique Willy Burgdorfer a découvert que la maladie était causée par une bactérie transmise par la piqure d'une tique appelée *Ixodes scapularis* qui pour sa part, habite sur des mammifères comme la souris à pattes blanches ou le cerf du virginie (Burgdorfer, 1984).

Au Québec, la maladie de Lyme était présente bien avant 1990, quand le premier programme de surveillance de la tique a été implanté par le réseau de santé publique (Institut national de santé publique du Québec [INSPQ], 2016). Cependant depuis 2011, le nombre de cas a commencé à augmenter dramatiquement. En 2006, 179 cas ont été rapportés dans la province, comparativement à une moyenne de cas observés pendant les années 2004 à 2010 qui était de 14 cas par année. (Ministère de la Santé et des Services sociaux [MSSS], 2017a)

Selon les observations réalisées sur le cycle de transmission de la maladie de Lyme, l'expansion de la maladie et l'augmentation de cas au Québec sont dus aux modifications apportées par les changements climatiques et les transformations des écosystèmes. Ces phénomènes ont favorisé principalement la migration et l'augmentation du nombre d'espèces qui font partie du cycle de transmission, de même que le contact entre les humains et la tique. D'autre part, les modèles de simulation montrent que la situation est en train de s'aggraver même dans les meilleures circonstances, si des changements ne sont pas effectués.

Présentement, la région de l'Estrie est la plus touchée par la maladie de Lyme au Québec. Dans cette région la prévalence de la maladie est douze fois plus élevée, et le nombre de cas représente 42 % des cas rapportés dans la province (Direction de santé publique du CIUSSS de l'Estrie – CHUS., 2017a). De multiples interventions visant à modifier les habitudes et les comportements des personnes ont été mises en place. Cependant, les interventions visant les espèces associées au cycle de transmission et son écosystème n'ont pas été introduites dans le territoire. Ce document est destiné à la Direction de santé publique de l'Estrie comme une section d'un projet d'évaluation des nouvelles interventions à mettre en place dans la région pour mieux combattre la maladie de Lyme.

L'objectif principal de ce travail est d'analyser de manière systématique les mesures qui n'ont pas encore été mises en place dans la région de l'Estrie, mais qui ont été appliquées ailleurs et qui ont obtenu des résultats positifs pour le contrôle et la prévention de la maladie de Lyme. Afin d'y parvenir, les objectifs spécifiques suivants seront poursuivis.

Le premier objectif spécifique vise à identifier les interventions appliquées à l'intérieur et à l'extérieur du Québec. Le deuxième vise à examiner les caractéristiques des interventions identifiées et le troisième, à analyser les aspects favorables et défavorables des interventions en environnement dans une perspective de développement durable, selon les piliers écologique, économique et social.

La méthodologie utilisée pour l'analyse des interventions a été divisée en deux grandes catégories d'interventions : celle ciblant les personnes et celle ciblant l'environnement. Pour les mesures présentes au Québec et ciblant les personnes, une recherche dans la littérature scientifique a été faite afin d'analyser l'efficacité et l'évolution des mesures à l'extérieur et à l'intérieur de la province. Toutefois, comme ces mesures sont déjà mises en place dans la région de l'Estrie et sont cohérentes avec l'objectif de ce travail, la plupart de la recherche a été dirigée vers les interventions qui concernent l'environnement. Premièrement, une recherche dans multiples banques de données a été faite. Deuxièmement, les interventions identifiées ont été caractérisées plus profondément à partir d'une deuxième recherche spécifique pour chacune des mesures. Troisièmement, une analyse systématique pour chaque intervention basée sur les trois piliers du développement durable a été effectuée.

Les sources d'information présentées dans ce travail proviennent principalement des États-Unis et du Canada; le premier à cause de son expérience avec la maladie de Lyme et le deuxième puisque c'est le

pays concerné dans le présent travail. Les banques de données utilisées ont été sélectionnées par des experts dans le domaine, et font partie de la liste offerte par l'Université de Sherbrooke et l'Université de los Andes. Les articles choisis ont été publiés par des revues scientifiques nationales et internationales reconnues comme : le *Journal of Medical Entomology* et le *New England Journal of Medicine*. Par ailleurs, les sites web du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), du *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC) ont notamment été consultés en tant que références. En complément, des experts en loi de l'environnement et des distributeurs de produits mentionnés dans le texte ont été contactés dans le but d'approfondir la connaissance et répondre à certains questionnements.

Le présent travail se divise en six chapitres. Le premier chapitre contextualise les lecteurs par rapport à la maladie de Lyme. Cette section aborde le cycle de transmission de la maladie, les symptômes, les coûts secondaires de la gestion de la maladie et il présente les trois espèces les plus importantes dans le cycle de transmission de la maladie : la tique, le cerf de Virginie et la souris à pattes blanches. Le deuxième chapitre introduit la situation de la maladie de Lyme au Québec, ce qui inclut le diagnostic et le traitement disponibles dans la province, les effets des changements climatiques dans la province associés à la maladie et une présentation des mesures de prévention utilisées dans la région de l'Estrie. Le troisième chapitre décrit la méthodologie. Le quatrième expose l'analyse des interventions appliquées au Québec. Le cinquième chapitre présente les interventions en environnement. Celles-ci ont été organisées en quatre groupes : les mesures ciblant la tique, les chevreuils, la souris et les modifications du paysage. L'analyse de chaque intervention est également présentée selon chaque pilier du développement durable. De plus, une section qui considère les lois et les réglementations associées à l'intervention a été incorporée. Finalement, le sixième chapitre traite des interventions qui sont en train d'être développées et qui pourraient être considérées à l'avenir.

1. LA MALADIE DE LYME DANS LE MONDE

Le nombre de cas de maladie de Lyme diagnostiqués augmente continuellement en Amérique du Nord, en Europe, et en Asie.

Aux États-Unis, entre 2005 et 2015, 279 514 cas ont été rapportés alors qu'actuellement 30 000 cas sont rapportés par année. Les États avec la plus haute incidence par habitant sont le Vermont et le Maine avec 78,4 et 74,7 cas par 100 000 habitants en 2015 (CDC, 2016a). Les groupes d'âge les plus affectés dans la population sont situés entre 3 et 8 ans et entre 43 et 58 ans. On sait également que la plupart des cas sont rapportés pendant les mois de juin et de juillet (CDC, 2016b). À l'annexe 1, la carte des cas rapportés en 2001 et en 2015 aux États-Unis donne un aperçu de l'évolution de cette maladie.

En Europe, environ 85 000 cas sont rapportés chaque année (Lindgren et Jaenson, 2006). Les pays les plus touchés sont la Slovénie avec une fréquence de 130 par 100 000 habitants et la République tchèque, l'Estonie et la Lituanie avec un nombre de cas de 36 par 100 000 habitants (World Health Organisation [WHO], s. d). Dans ce continent, la plupart de cas sont rapportés pendant les mois d'avril à septembre (International Association for Medical Assistance to Travellers [IAMAT], 2016).

Bien que l'Asie soit un continent qui ait été moins affecté, 3 500 cas sont tout de même rapportés chaque année (Centre for Health Protection [CHP], s. d.). Cependant, il est possible que la plupart des cas ne soient pas rapportés, et que le nombre de personnes affectées soit plus élevé. Une étude sérologique en Chine a démontré une sérologie positive dans 1,1 % à 12,8 % des échantillons sanguins parmi les 30 000 personnes testées (Wu, Na, Wei, Zhu et Peng, 2013). Au Japon, entre 10 et 20 cas sont rapportés chaque année (National Institute of Infectious Diseases [NIID], 2015).

Dans cette section, une mise en contexte de la maladie de Lyme sera présentée. D'abord, le cycle de transmission de la maladie sera traité afin de comprendre comment l'humain est infecté. Deuxièmement, l'impact de la maladie sur la santé des personnes affectées sera présenté. Troisièmement, les coûts secondaires à la maladie de Lyme vont être abordés. Finalement, l'habitat, la localisation et d'autres caractéristiques des espèces prédominantes dans le cycle de transmission de la maladie seront présentés plus en profondeur, dans le but de saisir l'importance de leur rôle dans la transmission de la maladie.

1.1 Cycle de transmission de la maladie de Lyme

Pour qu'une maladie soit transmise, il est nécessaire d'avoir un équilibre entre trois facteurs : l'hôte, l'agent et l'environnement. Dans le cas de la maladie de Lyme, l'agent est le microorganisme qui cause la maladie (la bactérie *B. burgdorferi*); l'hôte est l'organisme qui contracte la maladie (l'humain), et l'environnement est le milieu qui permet l'interaction entre l'hôte et l'agent (p. ex. humidité, température). Dans le cas de certaines infections, un quatrième facteur est ajouté à la triade, le vecteur « tique». Ce dernier est l'organisme porteur de l'agent pathogène (*B. burgdorferi*) qui le transmet à l'humain. Cette relation peut être illustrée sous la forme de la triade épidémiologique classique (Figure 1.1). (Gordis, 2014)

Le cycle de transmission commence lorsqu'une tique devient infectée par le spirochète, au moment où elle se nourrit d'un hôte qui est déjà infecté par cette bactérie (animal réservoir) (Figure 1.2). Quand la bactérie colonise les glandes salivaires de *I. scapularis*, la tique devient capable d'infecter d'autres animaux non porteurs de la bactérie (p. ex. des souris, des chiens). Si la tique entre en contact avec d'autres mammifères, elle peut donc les infecter et augmenter le nombre de réservoirs dans une zone donnée. Par contre, lorsque la tique se nourrit d'animaux n'ayant pas la capacité d'être des réservoirs, comme les cerfs, ceux-ci ne sont capables de transmettre la bactérie. (CDC, 2015b)

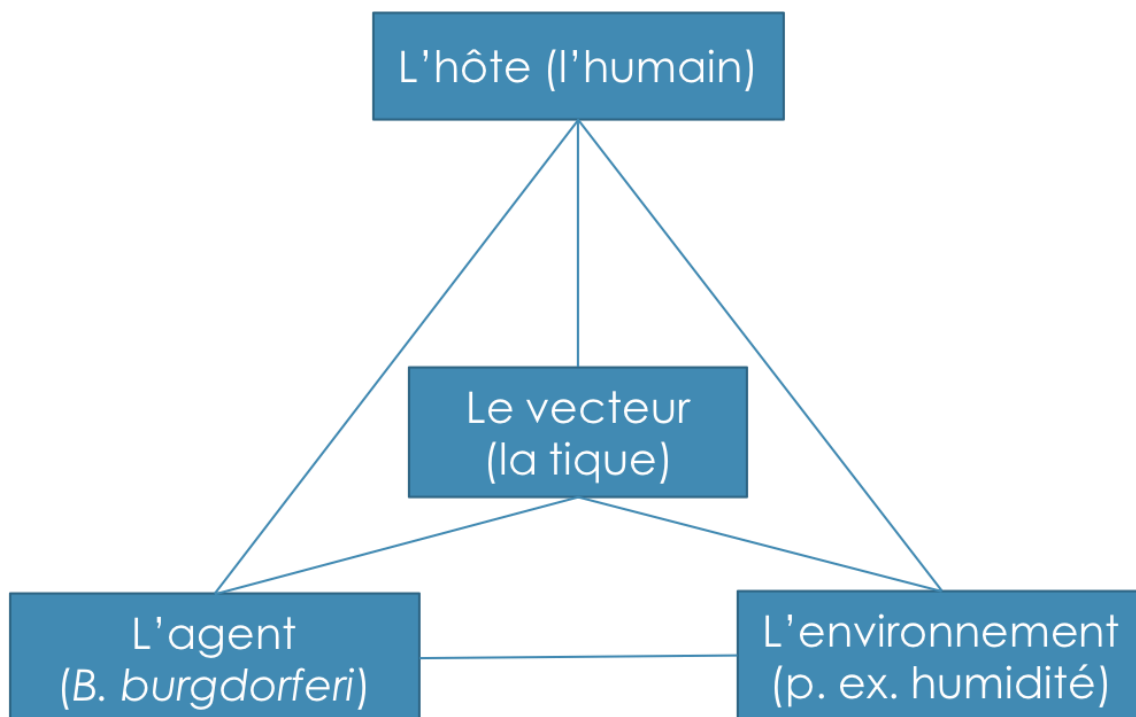


Figure 1.1 La triade épidémiologique de la maladie de Lyme (adapté de : Gordis, 2014)

Si les humains entrent en contact avec la tique, celle-ci peut se nourrir de leur sang et transmettre la bactérie *B. burgdorferi*. Toutefois, la probabilité d'acquérir la maladie dépend du temps d'adhésion de la tique. Afin de transmettre efficacement la bactérie et causer la maladie, la tique doit rester plus de 24 heures attachée. La probabilité d'infection augmente selon le temps d'adhésion. Ceci est valide pour les humains et pour les hôtes sur lesquels la bactérie est capable d'habiter et de se reproduire. (The Connecticut Agricultural Experiment Station, 2007) (Figure 1.3)

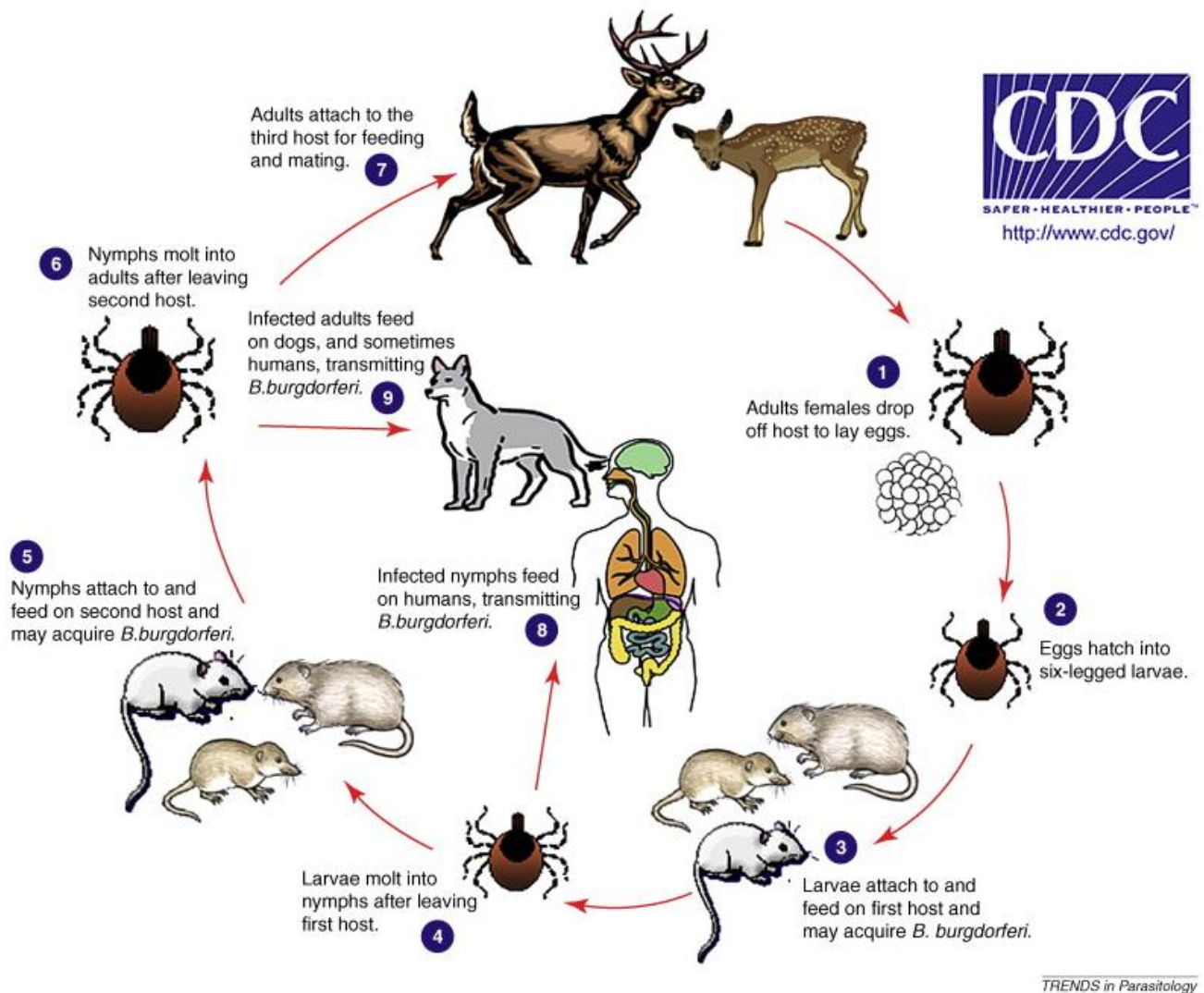


Figure 1.2 Cycle de transmission de la bactérie *B. burgdorferi* à l'humain (tiré de : CDC, 2015b)

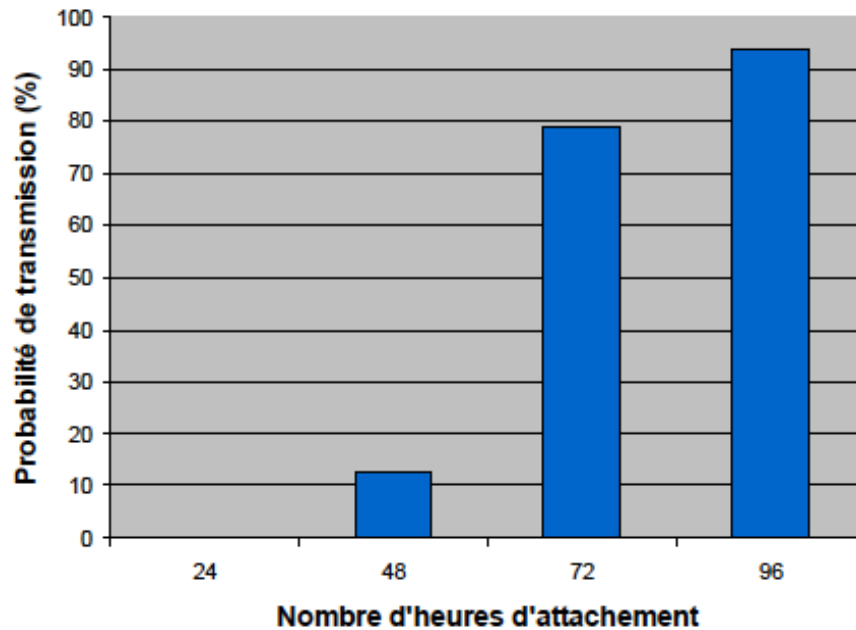


Figure 1.3 Probabilité cumulative de transmission de *B. burgdorferi* à une souris selon la durée d'adhésion de la tique (tiré de : The Connecticut Agricultural Experiment Station, 2007)

1.2 Les symptômes de la maladie de Lyme

La période d'incubation de la maladie est la période entre la piqûre et le développement de symptômes. Pour la maladie de Lyme, cette période varie entre 3 à 30 jours, néanmoins, elle est le plus souvent de 7 à 14 jours. (The Center for Food Security & Public Health [CFSPH], 2011)

La maladie présente trois stades cliniques qui peuvent se superposer les uns les autres. Il est également possible d'avoir la maladie sans présenter la symptomatologie d'un stade en particulier. (Direction de santé publique du CIUSSS de l'Estrie – CHUS, 2017b)

Le premier stade, aussi appelé infection précoce localisée, commence après la période d'incubation. (Direction de santé publique du CIUSSS de l'Estrie – CHUS, 2017b). La symptomatologie consiste en la présence de l'érythème migrant, une lésion cutanée qui commence comme une pustule ou une macule rouge dans la zone piquée, et qui s'étend. L'érythème typique de la maladie a la forme d'une cible (Figure 1.4), cependant, il peut se présenter sous d'autres formes. La lésion est généralement indolore, mais elle peut produire dans certains cas un prurit (CFSPH, 2011). Ce symptôme se présente dans 60 % à 80 % des cas. L'érythème peut être associé à des myalgies, des arthralgies et des symptômes analogues à

ceux de la grippe comme : fatigue, céphalées, anorexie et fièvre. (Direction de santé publique du CIUSSS de l'Estrie – CHUS, 2017b)



Figure 1.4 Érythème migrant (tiré de : WebMD, 2017)

Le deuxième stade, ou infection précoce disséminée se produit de quelques semaines à trois mois après la piqûre. L'érythème migrant peut être présent au cours de cette étape de façon disséminée, ce qui est aussi le cas pour la myalgie et l'arthralgie, cette dernière se produisant surtout dans les articulations des genoux. Des symptômes et manifestations neurologiques (p. ex. raideur de la nuque, méningite ou paralysie faciale), et cardiologiques (p. ex. bloc du nœud auriculo-ventriculaire ou myopéricardite) peuvent aussi survenir. D'autres symptômes, moins fréquents pour ce stade, sont présentés à l'annexe 2. (CFSPH, 2011)

Les symptômes du troisième stade aussi appelé « infection tardive disséminée » se produisent à peu près trois mois après la piqûre. Certains symptômes présents à ce stade sont l'arthrite intermittente, la fatigue et la léthargie, l'encéphalopathie et la polyneuropathie (Hu, 2017). De 10 % à 30 % des patients diagnostiqués et traités correctement peuvent présenter une infection tardive disséminée (Direction de santé publique du CIUSSS de l'Estrie – CHUS, 2017b). Lorsque le troisième stade est prolongé de 6 mois et qu'il est associé à des limitations fonctionnelles, il est désigné comme étant le *Post-Treatment Lyme Disease Syndrome* (PTLDS) ou le syndrome post-maladie de Lyme. C'est ce syndrome qui inquiète le plus à cause de sa nature chronique, ses effets négatifs sur la qualité de vie et ses coûts importants pour le système de santé. (CDC, 2017b)

Chez les femmes enceintes, la maladie peut se présenter de manière similaire et jusqu'à aujourd'hui, il n'a pas été démontré que l'infection augmente le risque de naissance prématurée ou que la bactérie affecte le fœtus. Toutefois, le diagnostic de la maladie pendant la grossesse peut générer un haut niveau d'anxiété pour la femme enceinte ainsi que pour sa famille. Par conséquent, il est important de bien informer la femme enceinte sur les symptômes et comment ceux-ci sont non compromettants pour le fœtus. (Shapiro, 2014)

1.3 Les coûts associés à la maladie de Lyme

Comme d'autres maladies, le diagnostic et le traitement de la maladie de Lyme ont un coût important pour le système de santé. Une étude réalisée dans le Maryland (États-Unis) entre 1997–2000 montre que le coût moyen du traitement des patients diagnostiqués au premier stade de la maladie est de 464 \$ US, alors qu'il est de 1380 \$ US pour le stade tardif. Ces chiffres sont préoccupants en raison de l'augmentation du nombre de cas par année, même si le prix du traitement a diminué au cours des dernières années (Zhang et al., 2006). Toutefois, une recherche menée par Adrion, Aucott, Lemke et Weiner en 2015 considère que les coûts estimés par Zhang et al. sont trop optimistes. Selon leur recherche, la maladie de Lyme peut générer un coût supérieur à 4 418 \$ US par patient diagnostiqué avec la maladie et un coût de 10 423 \$ US par patient diagnostiqué avec un PTLDS. De plus, le PTLDS est associé à 89 % plus de visites au service d'urgence et 66 % plus de consultations médicales en comparaison au premier stade de la maladie. Ainsi, la maladie de Lyme contribue à augmenter les coûts et à réduire la capacité de réponse aux autres besoins des services de santé. L'étude conclut que la maladie de Lyme entraîne une dépense de 712 millions à 1,3 billion de dollars américains chaque année pour les États-Unis (Adrion, Aucott, Lemke et Weiner, 2015). Il est également important de considérer les dépenses exclues de ces études, comme celles associées aux campagnes de prévention et à la perte de productivité. La croissance constante de la maladie de Lyme dans le monde laisse présager une augmentation encore plus importante de ces coûts dans le futur.

1.4 Les espèces de grande importance dans le cycle de transmission de la maladie

Puisque le cycle de transmission de la maladie de Lyme dépend de certaines espèces, il est nécessaire de les étudier afin de comprendre l'évolution et le comportement de la maladie (Lindgren et Jaenson, 2006). Dans cette section, les différentes espèces impliquées dans le cycle de transmission à l'humain vont être traitées plus profondément, à savoir la tique, le cerf et la souris.

1.4.1 La tique (*Ixodes scapularis*)

Mondialement, il y a différents types de tiques qui ont la capacité de transmettre le spirochète à l'humain. Au Canada, les tiques *Ixodes scapularis* et *Ixodes pacificus* sont les espèces capables de transmettre l'agent pathogène. *I. scapularis* se trouve dans le sud-est du pays et *I. pacificus* est présente dans les régions situées dans le sud-ouest du pays. Les figures 1.5 et 1.6 montrent les régions dans lesquelles *I. scapularis* et *I. pacificus* sont présentes respectivement. Aux États-Unis, *I. scapularis* est présente dans l'est et *I. pacificus* dans l'ouest du pays. En Europe, la maladie est transmise principalement par *I. ricinus* dont sa présence est observée de la Grande-Bretagne à la Russie européenne. Finalement, en Asie c'est la tique *I. persulcatus* qui est présente, plus spécifiquement en Russie asiatique, au Japon et en Chine. (Figure 1.7) (Steere, 2015)

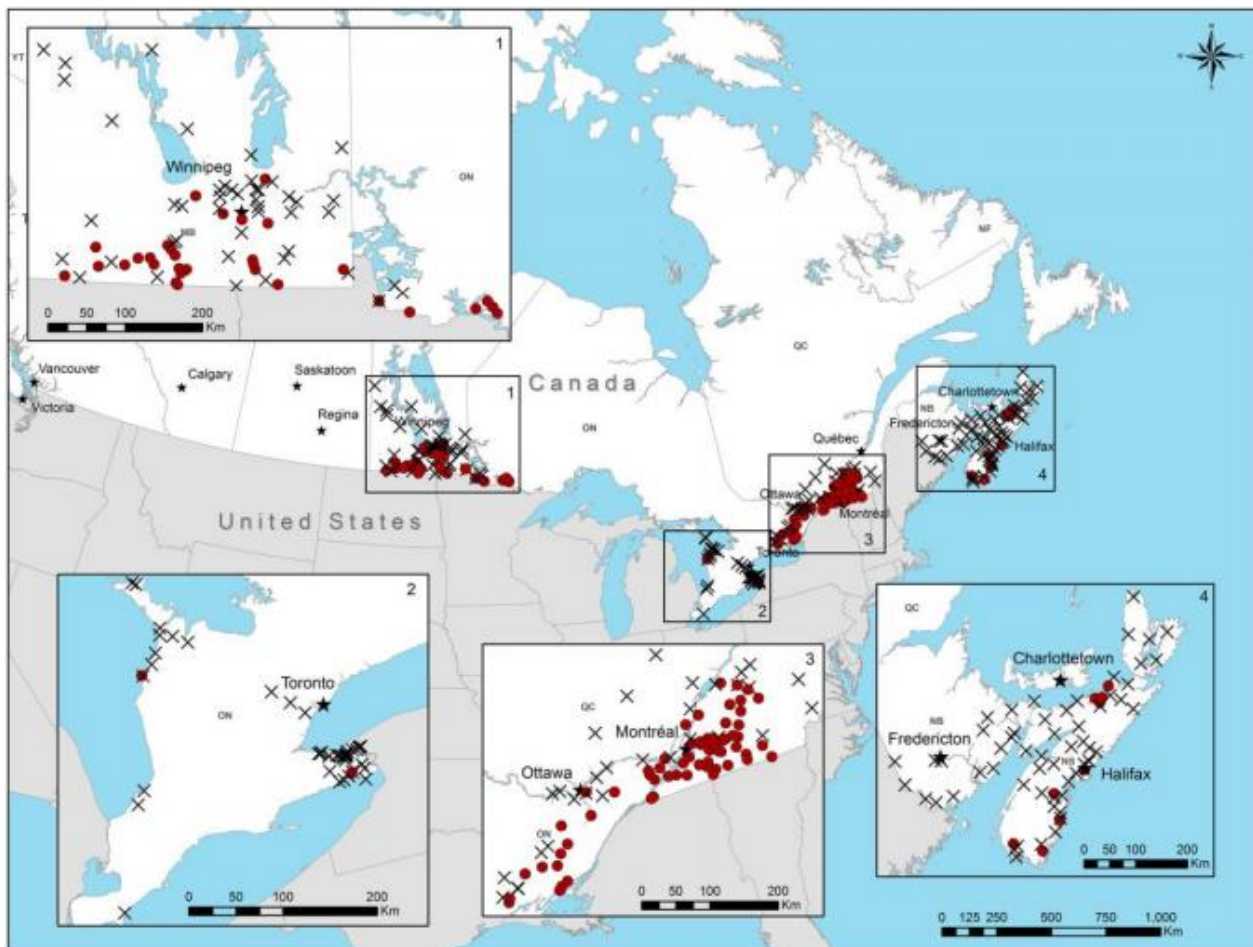


Figure 1.5 Présence de *I. scapularis* au Canada (cercles rouges) selon le rapport de surveillance de 2008 à 2012. (tiré de : Agence de la santé publique du Canada [ASPC], 2014)

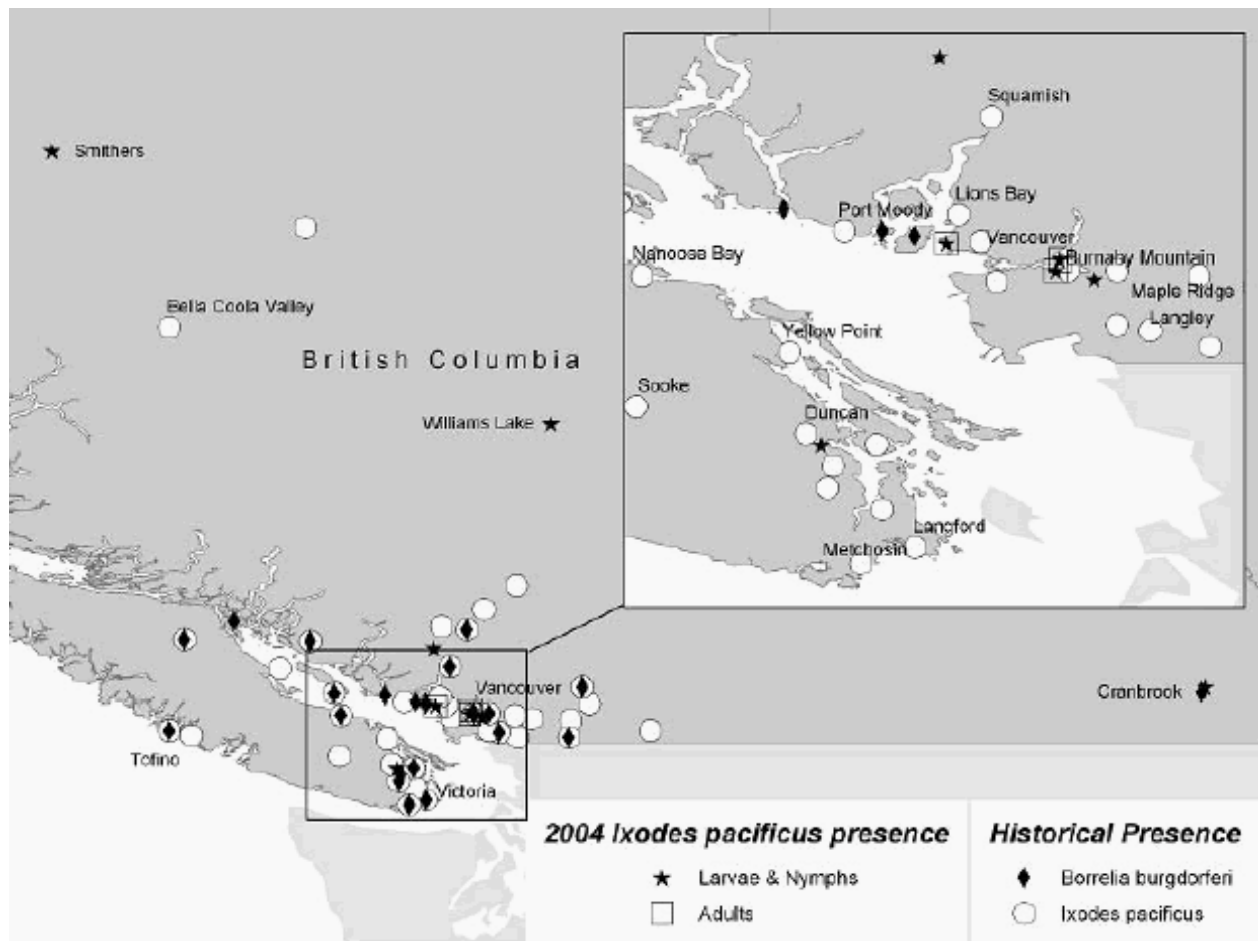


Figure 1.6 Présence de *I. pacificus* au Canada (2004) (tiré de : ASPC, 2008)

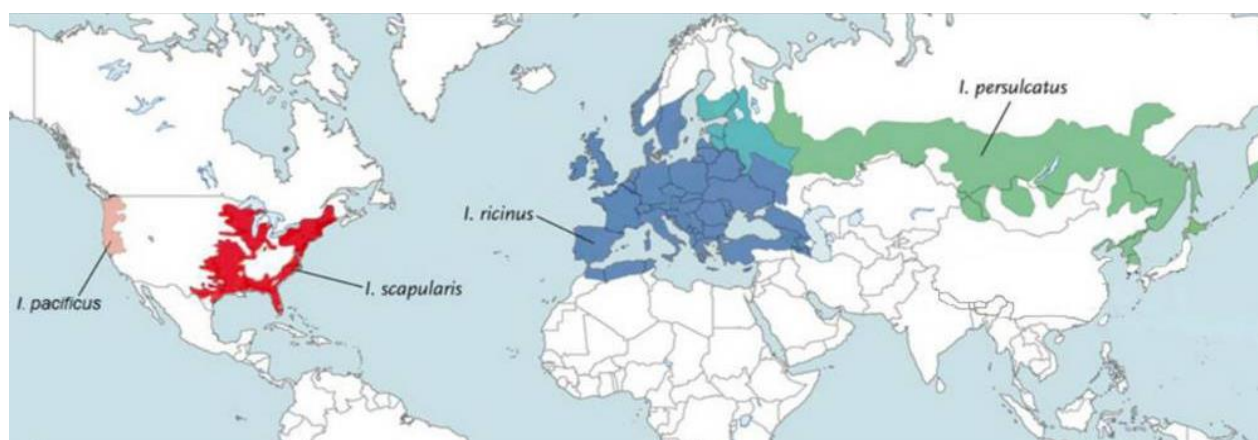


Figure 1.7 Distribution des principales tiques capables de transmettre la maladie de Lyme à l'extérieur du Canada (tiré de : Diuk-Wasser, Vannier et Krause, 2016)

I. scapularis, également connue comme la « tique à pattes noires » ou « tique du chevreuil » se caractérise par sa couleur brun foncé et ses pattes noires. La femelle adulte a un abdomen brun-orange avec un écusson noir, elle a une taille de 2,5 mm et peut atteindre de 3 à 6 mm après s'être nourrie; par contre, l'abdomen du mâle est presque noir et sa taille est de 2 mm sans se nourrir (Figure 1.8). La nymphe a une taille de 1 mm et la larve de 0,5 mm approximativement. (Villeneuve, 2012)

Le cycle de vie de la tique est associé au cycle saisonnier et s'étend sur deux années. La première année commence avec la ponte des œufs au printemps, qui est suivie par l'éclosion des œufs pendant le printemps et l'été (Figure 1.9). La larve se nourrit pour la première fois pendant l'été ; elle peut se nourrir du sang des oiseaux ou des petits mammifères comme *Peromyscus leucopus* (la souris à pattes blanches). Pendant l'automne de la première année, la larve se transforme en nymphe et entre en diapause pendant l'hiver. La diapause est un stade de ralentissement du métabolisme et d'arrêt évolutif de la tique. Entre le printemps et l'été de la deuxième année, la tique peut se nourrir pour une deuxième fois de petits mammifères, d'animaux domestiques, de l'humain ou du chevreuil. À la fin de l'été, les nymphes se transforment en adultes femelles ou mâles et une dernière étape d'alimentation a lieu pendant l'automne. L'hôte principal de la tique adulte est *Odocoileus virginianus* (le cerf de Virginie) et c'est sur ce mammifère qu'a lieu la reproduction de la tique; cependant, l'adulte peut se nourrir aussi des proies. (Trudel et Milord, 2010)

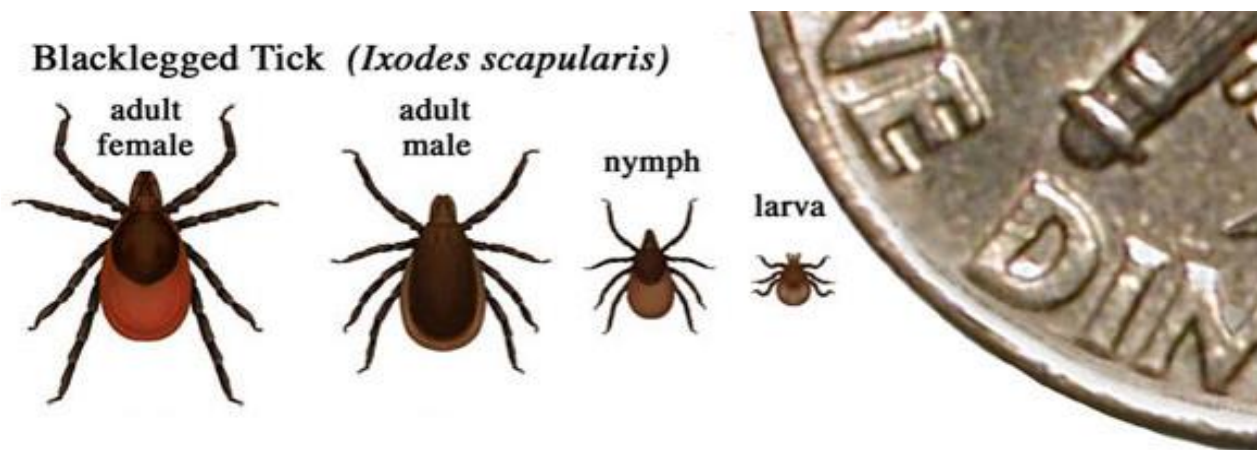


Figure 1.8 Différents stades de *I. scapularis* et taille en comparaison avec une pièce d'un dime de dollar américain
(tiré de : CDC, 2015b)

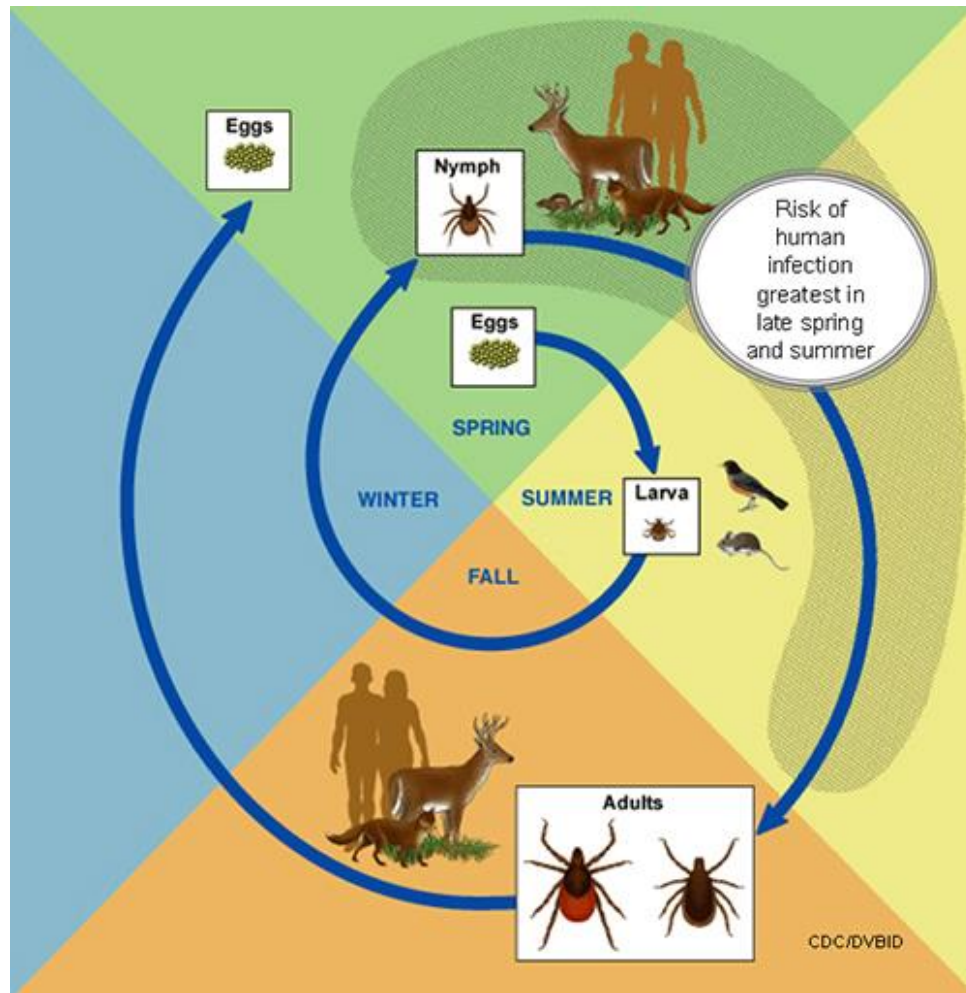


Figure 1.9 Cycle de vie de *I. scapularis* (tiré de : CDC, 2015b)

Les tiques adultes qui n'ont pas eu l'opportunité de se nourrir pendant l'automne peuvent le faire pendant le printemps de la troisième année si elles survivent à la deuxième diapause. Le cycle recommence le printemps de la troisième année quand l'adulte femelle pond ses œufs; elle peut pondre jusqu'à 20 000 œufs. (Trudel et Milord, 2010 ; Villeneuve, 2012)

I. scapularis se trouve principalement dans les zones boisées, comme la forêt et l'écotone. Elle est aussi présente en quantité plus faible dans les plantes ornementales et dans la pelouse des jardins. La plupart des humains sont piqués par des tiques au stade de nymphe pendant le printemps et l'été. Cela s'explique par trois facteurs. Le premier est le pic d'activité du cycle d'alimentation de la tique. Le deuxième est la facilité des humains d'entrer dans la forêt pendant ces saisons et le troisième sont les activités de jardinage typiques à cette période de l'année. Ces trois facteurs augmentent la probabilité de contact entre la tique

et l'humain. De plus, la tique à ce stade a une petite taille et elle est difficilement visualisée par les humains. Enfin, les animaux domestiques peuvent aussi entrer en contact avec ces environnements et apporter la tique aux jardins résidentiels ou à la maison. (The Connecticut Agricultural Experiment Station, 2007)

1.4.2 Le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*)

O. virginianus, l'hôte principal de *I. scapularis* à l'âge adulte, est un des plus étudiés, même s'il n'a pas la capacité d'être un réservoir de *B. burgdorferi* (Kilpatrick, Labonte et Stafford, 2014). La relation entre le cerf et la tique a été premièrement étudiée à Long Island (New York) en 1985, par une équipe d'épidémiologistes. Cette recherche a permis de démontrer qu'il y a une relation entre la présence de cerfs dans une zone et le nombre de tiques présentes dans la même zone. Comme conclusion de la recherche, ils ont soulevé la possibilité de réduire le risque de maladie de Lyme par une réduction de la population des cerfs (Wilson, Adler et Spielman, 1985; Wilson, Ducey, Litwin, Gavin et Spielman, 1990). Depuis la publication de cette étude, plusieurs autres groupes ont également étudié la relation entre *I. scapularis* et *O. virginianus* en obtenant des résultats qui réaffirment les observations de l'équipe de Dr Wilson (Jordan, Schulze et Jahn, 2007; Kilpatrick, Labonte et Stafford, 2014; Kugeler, Jordan, Schulze, Griffith, et Mead, 2016; Levi, Kilpatrick, Mangel et Wilmers, 2012; Rand et al., 2003; Stafford, Denicola et Kilpatrick, 2003).

La forêt est l'habitat idéal pour le cerf de Virginie. Pendant l'été, il va rester dans pratiquement n'importe quelle partie de la forêt, du moment qu'il y ait une quantité de végétation suffisante. Pendant l'hiver, sa résidence peut changer de plusieurs kilomètres afin de trouver une zone ayant les ressources et la protection nécessaires à sa survie pendant la saison froide. Par conséquent, il est plus facile de trouver des agglomérations de cerfs pendant l'hiver. Le cerf se nourrit à partir du feuillage, des crosses de fougère, des champignons, des bleuets, et des rameaux et des bourgeons pendant l'automne (Fédération canadienne de la faune, s. d.). *O. virginianus*, qui est une espèce native du néarctique et du néotropical est présente au Canada, aux États-Unis, en Amérique centrale et en Bolivie. La Figure 1.10 montre la répartition de cette espèce au Québec. Les principaux prédateurs des cerfs sont les humains, le loup gris, le coyote, le lynx roux et les ours. En captivité, le cerf peut survivre jusqu'à 20 années, cependant, à l'état sauvage sa mortalité augmente et il vit seulement en moyenne 2 ou 3 années. Dans l'écosystème, *O. virginianus* est important pour le contrôle de la végétation. Le cerf réduit en effet la population de plantes, et pendant l'hiver il affecte surtout les arbres. Cette espèce est aussi une source de nutriments pour ses prédateurs. (Dewey, 2003)



Figure 1.10 Répartition du *O. virginianus* au Québec (tiré de : MFFP, 2015)
 La répartition de *O. virginianus* est représentée par la région jaune.

1.4.3 La souris à pattes blanches (*Peromyscus leucopus*)

La souris à pattes blanches est une espèce très importante dans le cycle de transmission de la maladie de Lyme. Elle est un des hôtes principaux de la tique et à la différence de *O. virginianus*, elle est capable d'infecter la tique puisqu'elle est un réservoir de la bactérie. Elle est l'émettrice principale de la bactérie *B. burgdorferi* en Amérique du Nord, suivie par le genre *Sorex* et *B. brevicauda* (Figure 1.11). Néanmoins, quand la souris n'est pas l'hôte principal de la tique dans une région donnée, d'autres mammifères deviennent les transmetteurs les plus importants. (Kilpatrick et al., 2017)

La souris *P. leucopus* a la capacité de survivre dans une grande variété d'écosystèmes. Elle peut se trouver dans les forêts à hautes altitudes et dans les zones semi-désertiques. Toutefois, son écosystème préféré est la forêt humide et chaude. Cette souris est native du néarctique et actuellement, elle est présente du Canada au Mexique. La figure 1.12 montre la distribution de la souris en Amérique du Nord et au Québec. Dans ces territoires, elle peut se nourrir de graines, de baies rouges, de noix, d'insectes, de fruits et de champignons. À l'état sauvage, *P. leucopus* peut vivre jusqu'à 12 mois et en captivité, 2 années. Dans l'écosystème, elle est une source de nutriments importante pour ses prédateurs. (Aguilar, 2011)

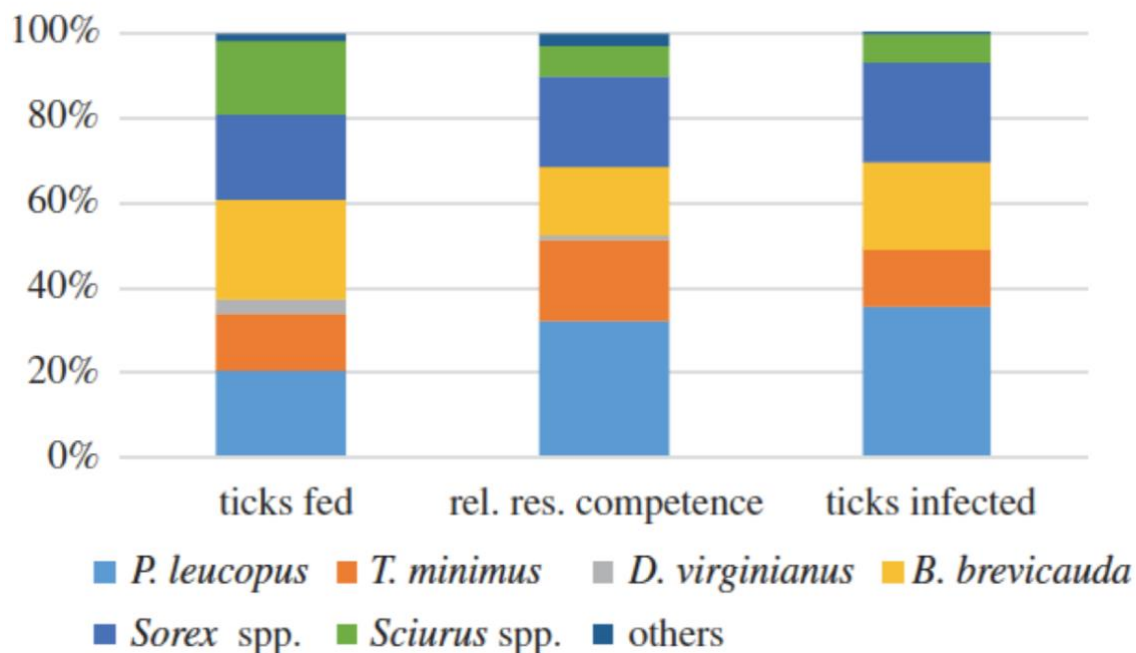


Figure 1.11 Relation entre *I. scapularis* et différents micromammifères (tiré de : Kilpatrick et al., 2017)
Cette figure montre les mammifères desquels la tique se nourrit (première colonne), sur lesquels elle habite (deuxième colonne) et à partir desquels elle s'infecte plus fréquemment (troisième colonne).

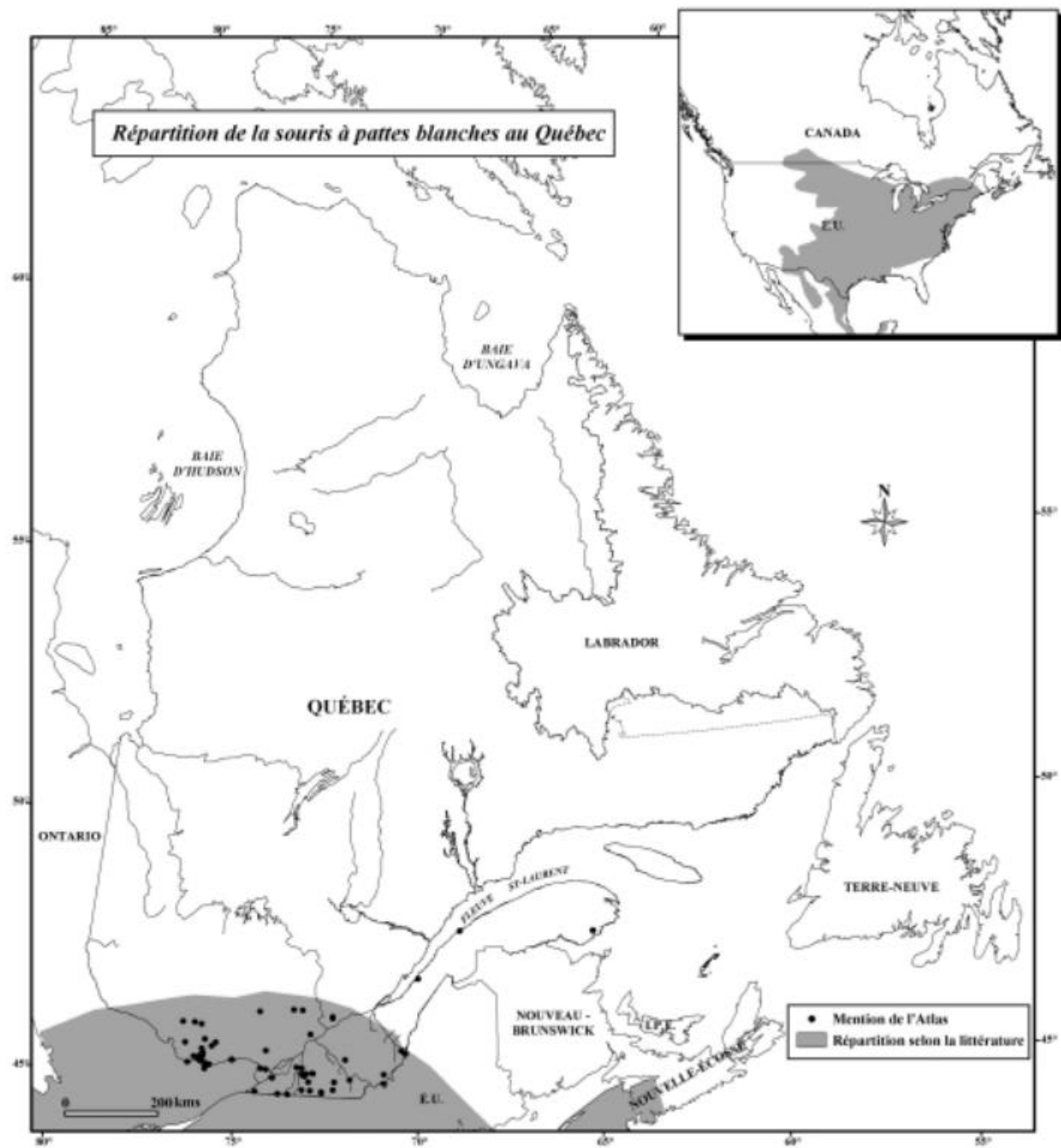


Figure 1,12 Répartition de la souris à pattes blanches en Amérique du Nord et au Québec
(tiré de : Société de la faune et des parcs du Québec, 2002)

2. LA MALADIE DE LYME AU QUÉBEC

La maladie de Lyme est la maladie transmise par un arthropode la plus fréquente en Amérique du Nord. Cette maladie a commencé à provoquer de la préoccupation au Québec depuis 1990, quand un programme de surveillance pour *I. scapularis* a été mis en place par le Laboratoire de santé publique du Québec (LSPQ). Ce programme a pour but d'identifier l'extension de la tique, l'hôte et les réservoirs nécessaires pour le cycle de transmission de la maladie. Il inclut une surveillance active et une surveillance passive. La surveillance active évalue les tiques infectées dans les milieux naturels, et la surveillance passive évalue les tiques apportées par les personnes qui ont été piquées. En 2003, la maladie de Lyme a été classifiée comme « une maladie de déclaration obligatoire » au Québec, ce qui signifie que chaque cas diagnostiqué de la maladie doit être rapporté à la Direction de santé publique. Grâce à cette mesure, il est possible de suivre l'évolution de la maladie dans la province. (INSPQ, 2016)

Selon les informations de surveillance recueillies, un maximum de 14 cas a été rapporté au Québec par année de 2004 à 2010. Cependant, depuis 2011, les cas de maladie de Lyme ont commencé à augmenter dans la province. Avant 2013, la plupart des cas étaient acquis par des personnes qui voyageaient en zones endémiques à l'extérieur du Québec. Néanmoins, depuis 2014, plus de la moitié des cas rapportés sont acquis à l'intérieur de la province (53 % de cas). En 2016, 179 cas ont été rapportés dont 71 % ont été acquis dans la province (Figure 2.1). Les statistiques révèlent également que la majorité des cas sont observés dans la région de l'Estrie et la Montérégie. (MSSS, 2017a) Selon le bilan des cas déclarés et acquis entre le 1er janvier et le 31 décembre 2017 au Québec, l'Estrie a été la région sociosanitaire la plus touchée avec 122 cas rapportés, suivie par la région de la Montérégie avec 77 cas, donnant un total de 242 cas déclarés pendant l'année 2017 au Québec. (MSSS, 2017b)

Selon les données de surveillance active et passive, moins de 20 % des tiques (*I. scapularis*) au Québec sont porteuses de la bactérie *B. burgdorferi* (MSSS, 2017a). Avec cette information et avec la surveillance des cas dans la province, chaque année l'INSPQ est capable de publier une carte de risque pour le sud du Québec (Figure 2.2). Cette carte est utile pour évaluer la progression de la maladie ainsi que pour identifier les secteurs où il est nécessaire d'intervenir plus rapidement. De plus, elle peut servir de guide aux résidents et aux visiteurs des zones à risque, afin de mettre en place les mesures préventives nécessaires. (INSPQ, 2017)

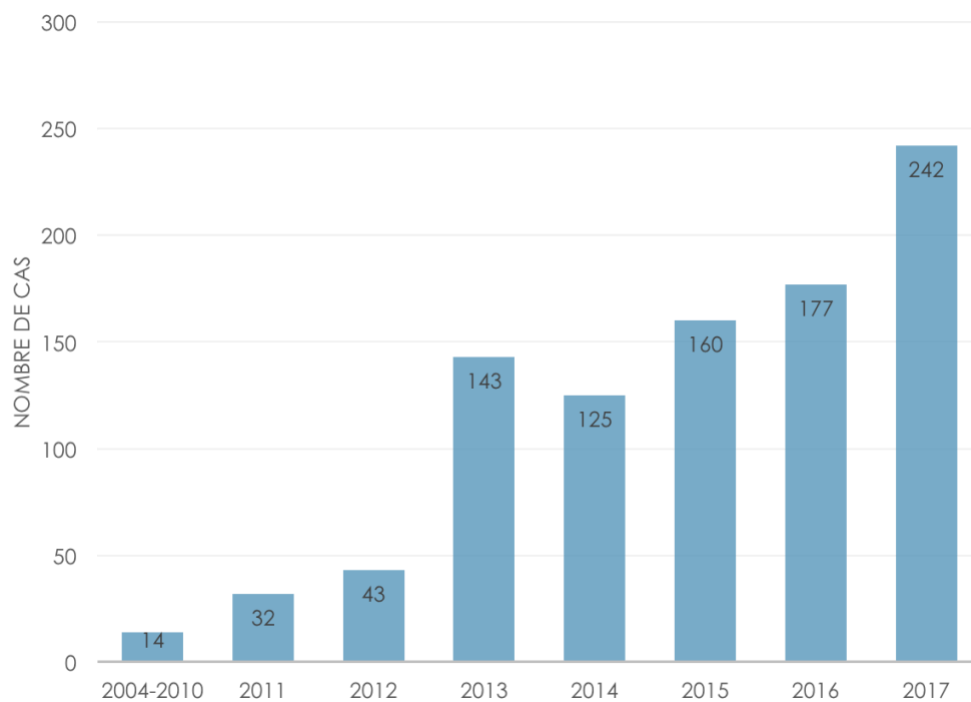


Figure 2.1 Nombre de cas déclarés annuellement au Québec depuis 2004
(Inspiré de : MSSS, 2017a et MSSS, 2017b)

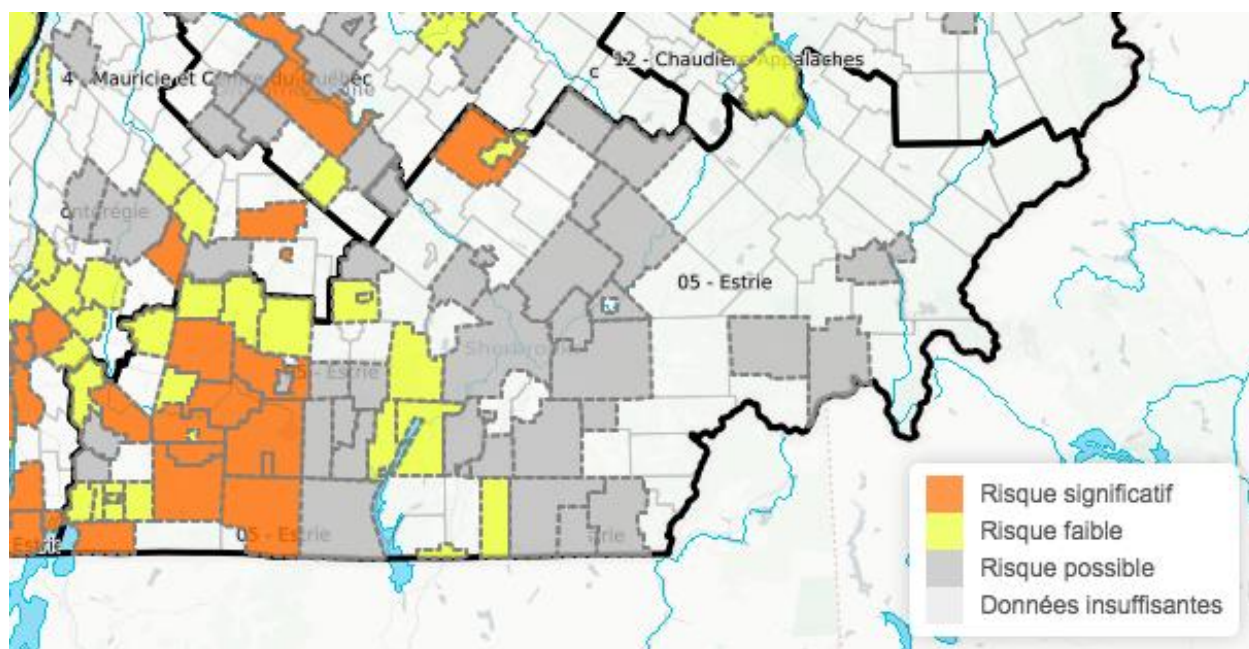


Figure 2.2 Carte des régions à risque d'acquisition de la maladie de Lyme dans la région de l'Estrie (juillet 2017) (tiré de : INSPQ, 2017)

Dans la région de l’Estrie, le taux d’incidence de la maladie de Lyme par habitant est de 25 pour 100 000, donc « douze fois plus élevé que le reste du Québec » (Direction de santé publique du CIUSSS de l’Estrie – CHUS., 2017c); et le nombre de cas représente 42 % des cas rapportés au Québec selon le bilan de 2016 (Figure 2.3). Dans cette région, la plupart des cas sont rapportés pendant l’automne (Figure 2.4). Deux tiers des cas sont diagnostiqués chez les hommes et l’âge moyen d’acquisition de la maladie est de 42 ans (Direction de santé publique du CIUSSS de l’Estrie – CHUS., 2017a). Les régions les plus touchées en Estrie sont les territoires des réseaux locaux de services (RLS) de la Pommeraie et de la Haute-Yamaska, ceux-ci ayant une incidence de 72/100 000 pour l’année 2017. Les RLS font partie d’un découpage territorial au Québec, ils « offrent des services de santé et des services sociaux à la population d’un territoire local » (Centre intégré de santé et de services sociaux de Laval [CSSLaval], 2018). L’objectif des RLS est de « contribuer au développement social et à l’amélioration de la santé et du bien-être de la population. » (Centre intégré de santé et de services sociaux de l’Outaouais [CISSSO], 2015). Le RLS de la Pommeraie compte avec une population de 52 000 personnes en 2016 (11 % de la population de l’Estrie) et la Haute-Yamaska compte avec 991 787 personnes (21 % de la population de l’Estrie) (Direction de santé publique du CIUSSS de l’Estrie – CHUS, 2016a; Direction de santé publique du CIUSSS de l’Estrie – CHUS, 2016b). La figure 2.5 montre le nombre de cas et l’emplacement géographique des cas dans ces deux RLS (Direction de santé publique du CIUSSS de l’Estrie – CHUS., 2017c).

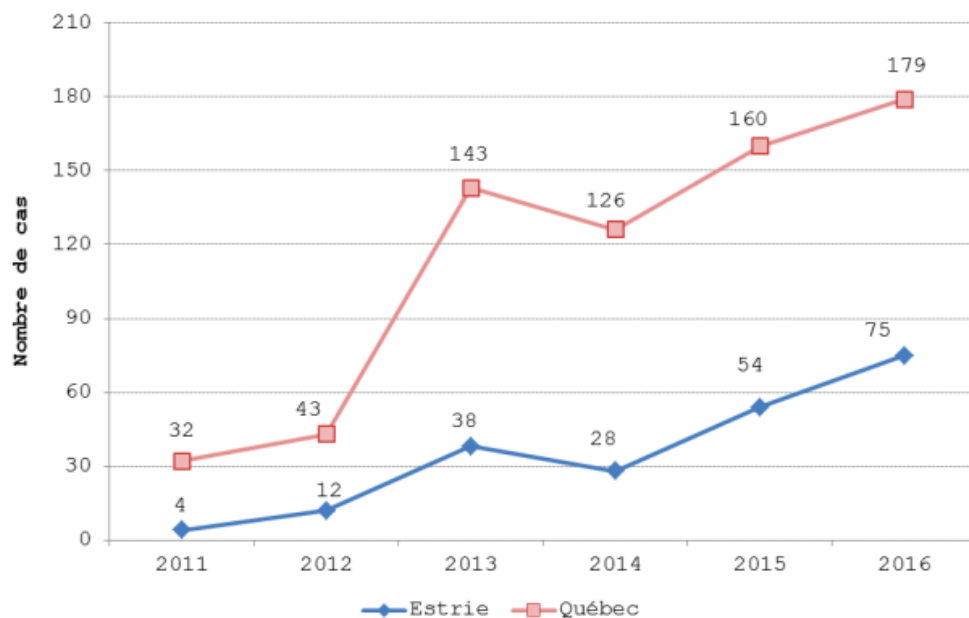


Figure 2.3 Nombre de cas déclarés dans la région de l’Estrie vs Québec
(tiré de : Direction de santé publique du CIUSSS de l’Estrie – CHUS., 2017a)

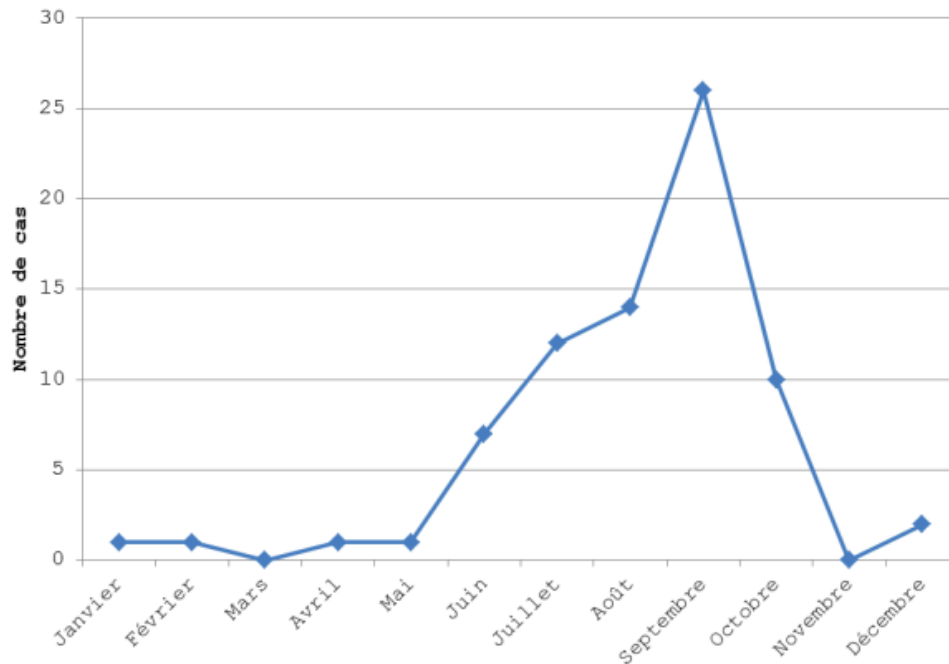


Figure 2.4 Nombre de cas déclarés dans la région de l'Estrie en 2016 par mois.
(tiré de : Direction de santé publique du CIUSSS de l'Estrie – CHUS., 2017a)

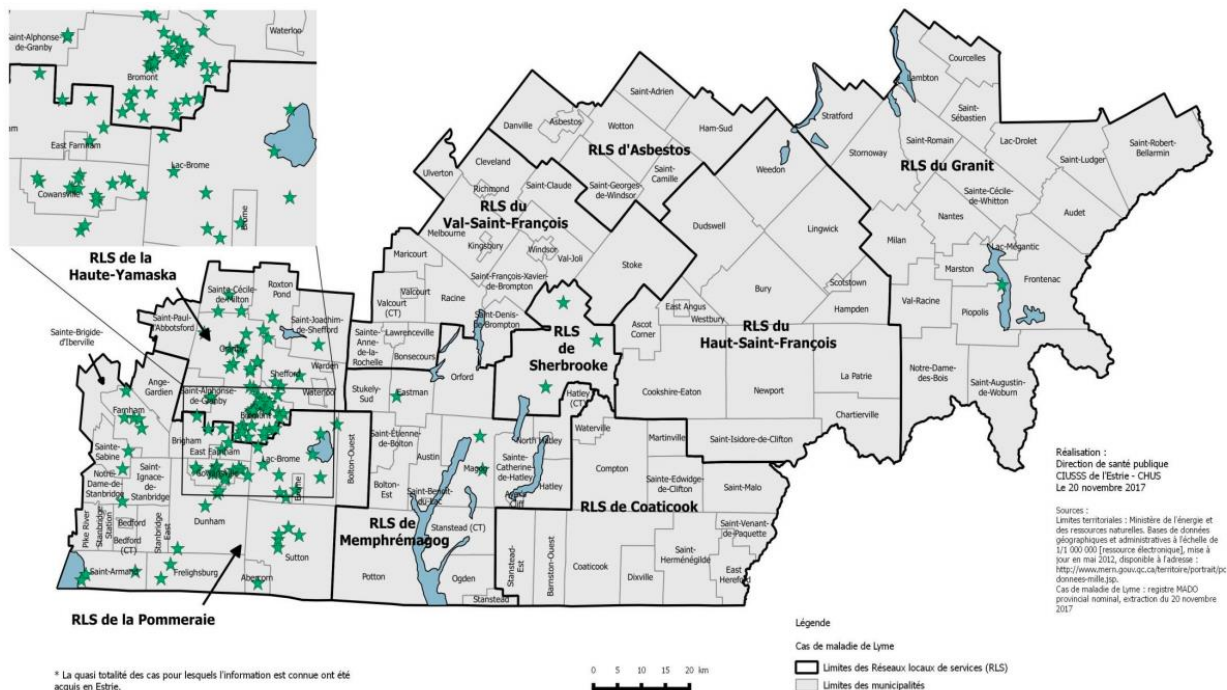


Figure 2.5 Cas déclarés dans le RLS de la Pommerai et le RLS de la Haute-Yamaska en 2016
(tiré de : Direction de santé publique du CIUSSS de l'Estrie – CHUS., 2017c, 2017)
Les étoiles vertes identifient le lieu de résidence des personnes ayant contracté la maladie.

La surveillance active de *I. scapularis* dans le RLS de la Pommeraie et le RLS de la Haute-Yamaska en 2016 a montré que 5 % des tiques dans ces deux régions sont infectées avec *B. burgdorferi*. Par contre, la surveillance passive montre que 22 % des tiques apportées par les patients sont porteuses de la bactérie. (Direction de santé publique du CIUSSS de l’Estrie – CHUS., 2017a)

Dans les sections suivantes, le processus du diagnostic ainsi que le traitement de la maladie de Lyme au Québec vont être expliqués, suivi par une description des études de simulation qui lient l’expansion de la maladie de Lyme dans la province avec les changements climatiques. Ensuite, les changements dans l’écosystème qui favorisent l’expansion de la maladie vont être exposés. La section finit avec une présentation des mesures de prévention qui ont été mises en place dans la région de l’Estrie pour lutter contre la maladie de Lyme.

2.1 Diagnostic et traitement de la maladie de Lyme au Québec

Le diagnostic de la maladie de Lyme se fait principalement à partir de l’observation de l’érythème migrant et l’historique d’exposition à la tique (diagnostic clinique). Toutefois, seulement 25 % à 30 % des patients se souviennent de l’exposition à la tique (Meyerhoff, 2017). Pour cette raison, le diagnostic de maladie de Lyme est possible en présence d’un érythème migrant dans une zone endémique, et ce même en l’absence de sérologie positive. Cependant, pour les stades 2 et 3 où la maladie se présente avec différents symptômes qui peuvent simuler d’autres maladies (p. ex. arthrite chronique), il est nécessaire de faire des tests sérologiques. (Hu, 2017; Wormser et al., 2006)

Actuellement, les tests sérologiques recommandés pour diagnostiquer la maladie de Lyme sont la méthode immuno-enzymatique (ELISA) et le *Western blot*. (Direction de santé publique du CIUSSS de l’Estrie – CHUS, 2017b ; Hu, 2017)

Le traitement de la maladie de Lyme réside dans l’administration des antibiotiques. Pendant l’infection précoce localisée, le traitement réduira la durée, l’intensité des symptômes et l’incidence des manifestations de l’infection disséminée. Selon le guide d’intervention de la maladie de Lyme au Québec, il est recommandé de « consulter un médecin microbiologiste-infectiologue dans les cas complexes ou à un stade plus avancé de la maladie ». Il est important de se souvenir que la doxycycline est l’antibiotique de choix pour traiter la maladie. Néanmoins, chez les femmes enceintes et les enfants de moins de 8 ans, ce médicament est contre-indiqué. Dans ces cas, l’amoxicilline ou d’autres antibiotiques recommandés par

le médecin microbiologiste-infectiologue peuvent être utilisés. (Direction de santé publique du CIUSSS de l'Estrie – CHUS, 2017b ; Lambert et al., 2013)

2.2 Les effets des changements climatiques sur la maladie de Lyme au Québec

Il y a 20 ans, toute personne aurait cru que parler de la malaria au Québec était une folie. Aujourd'hui, le sujet est devenu une réalité pour celle-ci, et bien d'autres maladies comme la maladie de Lyme à cause des changements climatiques (INSPQ, 2006). L'augmentation des gaz à effets de serre (GES) dans la troposphère a généré une augmentation des températures, une modification des précipitations et une élévation de l'humidité dans l'hémisphère nord (Olivier, 2015). Ces changements ont favorisé l'établissement de vecteurs porteurs de maladies qui n'étaient pas présentes auparavant au Québec (INSPQ, 2006).

Les projections de Ogden et al. en 2006 prévoyaient un accroissement de la population de *I. scapularis* au Canada selon deux différents scénarios de changement climatique (scénarios A2 et B2). Ces scénarios ont été développés à partir des modèles globaux du climat CGCM2 (canadien) et HadCM3 (britannique), et des données sur les émissions des GES fournies par l'intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Le scénario A2 simule une population qui continue à croître, qui est orientée vers l'amplification économique et technologique des GES (similaire au contexte vécu en 2006). Le scénario B2, quant à lui, simule une planète guidée par les principes du développement durable. Par conséquent, le scénario B2 compte une quantité inférieure des GES dans l'atmosphère. La figure 2.6 montre que, jusqu'à l'an 2000, *I. scapularis* n'avait pas été identifié au Québec. Les deux projections montrent comment la population de *I. scapularis* s'établit au Québec dans le temps et ce, même dans les conditions favorables du scénario B2. Selon le patron d'extension de la maladie observé actuellement dans la province, le scénario A2 semble être le plus réaliste. Dans ces circonstances, pour l'année 2050, le Québec peut s'attendre à une extension de la population de la tique similaire ou supérieure à celle du scénario A2 et, conséquemment, une amplification de la maladie de Lyme dans la province. (Ogden et al, 2006)

Une autre étude réalisée par Ogden et al. en 2008 utilise des algorithmes pour créer une carte de risques de la maladie de Lyme au Canada, basée sur l'extension de la population de *I. scapularis* décrite par le scénario A2 de son travail précédent. Avec les simulations et les algorithmes, deux modèles de cartes de risque ont été créés (Figure 2.7). Les images à gauche de la figure 2.7 simulent un modèle selon lequel *I. scapularis* atteindra une extension aux zones à risque élevé, dans une période de 30 ans. Les images à

droite montrent un modèle différent selon lequel la tique atteindra les zones à risque élevé ou modéré, donc une extension plus grande, dans la même période de temps. En conclusion, les deux graphiques peuvent être valides dans le futur, cependant, ce qui est certain est que probablement les régions à risque élevé (rouge) vont être affectées par *I. scapularis* selon l'étude de projection. (Ogden et al, 2008)

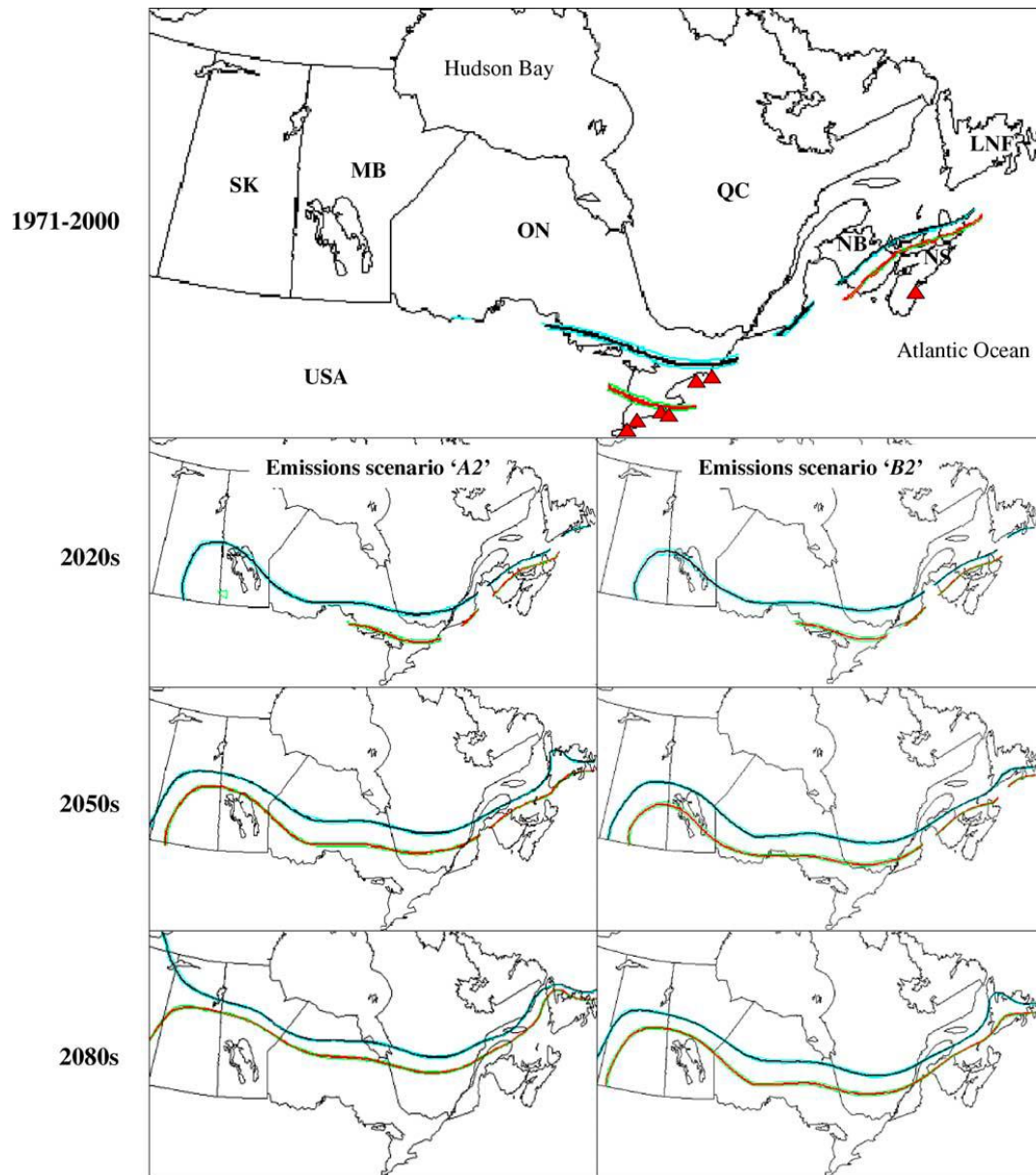


Figure 2.6 Extension de la population de *I. scapularis* selon les modèles de simulation pour les années 2020, 2050 et 2080 (tiré de : Ogden et al, 2006)

Les lignes rouges et bleues représentent les limites des régions affectées, ainsi que les régions non affectées. Les triangles rouges indiquent les lieux connus où résident les populations de *I. scapularis* au Canada.

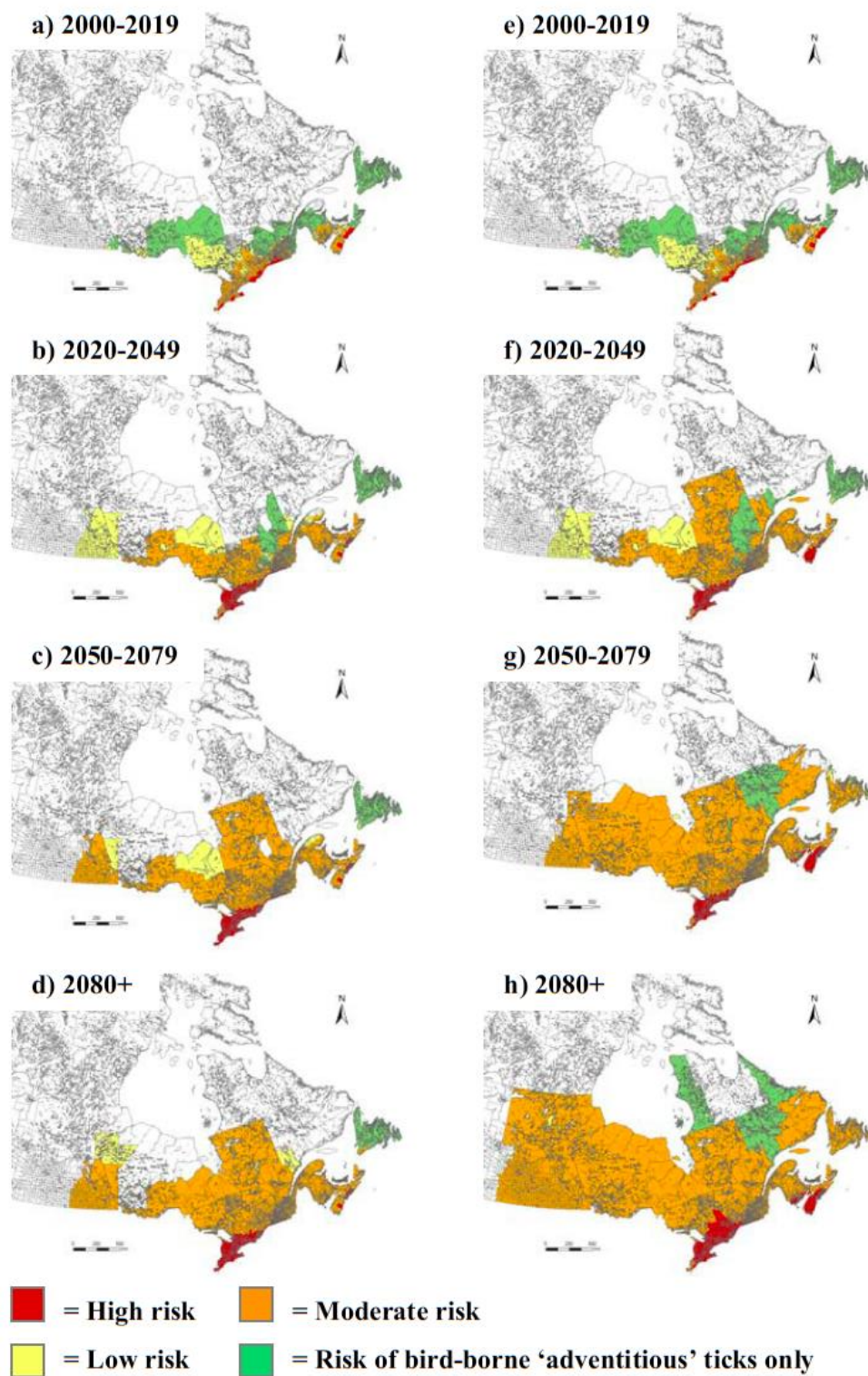


Figure 2.7 Cartes de risque selon l'expansion de *I. scapularis*, vecteur de la maladie de Lyme (tiré de : Ogden et al. 2008) La gravité du risque par région est illustrée par couleurs : rouge (risque élevé), orange (risque modéré), jaune (risque faible) et vert (risque très faible).

Avec ces études, il est possible de conclure que la maladie de Lyme est arrivée au Québec pour y rester. Les changements climatiques et la globalisation ont favorisé la modification des écosystèmes qui facilitent l'établissement et l'expansion de la tique dans le territoire et par conséquent, de la maladie de Lyme. Dans la section suivante, les changements de l'écosystème qui favorisent l'augmentation de la population de tiques et de leur infection par *B. burgdorferi* seront les sujets traités. (Ogden et al., 2006; Ogden et al., 2088)

2.3 Changements dans l'écosystème qui affectent la population des tiques.

Il y a plusieurs variables qui peuvent affecter l'écosystème des espèces associées à la maladie de Lyme. Néanmoins, trois variables principales se sont montrées plus significatives pour expliquer l'expansion et la croissance de la population de *I. scapularis* : la fragmentation des forêts, les changements climatiques et l'augmentation de la chasse de certaines espèces.

La fragmentation des écosystèmes implique l'élimination des plantes et la construction de chemins pour faciliter l'accès aux humains. Cette modification de l'écosystème affecte gravement la biodiversité des plantes et des animaux dans la région, puisque ces espèces sont contraintes de migrer afin de trouver les aliments et la protection nécessaires à leur survie. Dans les forêts de l'hémisphère nord, la fragmentation affecte surtout les mammifères prédateurs de la souris à pattes blanches, ce qui génère une augmentation de la population des souris qui est capable d'habiter dans les zones rurales et semi-rurales (Figure 2.8). Par conséquent, la probabilité qu'une tique devienne infectée avec la souris a augmentée, en raison d'une plus grande population de ces rongeurs dans la région. De même, la fragmentation et l'augmentation des températures, secondaire aux changements climatiques, encouragent les gens à fréquenter la forêt plus facilement et pour de plus longues périodes, ce qui augmente le risque pour eux de se faire piquer par une tique. (Millien, 2013)

L'augmentation des températures et de la chasse de *Canis lupus* (loup gris) ont produit une diminution de cette espèce en Amérique du Nord, notamment au sud du Canada. *Canis lupus* est un prédateur de *Canis latrans* (coyote) (Figure 2.9). Sans la présence des loups gris et avec l'augmentation des températures, qui sont favorables au coyote, cette espèce a eu l'opportunité de migrer des États-Unis au Canada. En même temps, *Canis latrans* est un prédateur de *Vulpes vulpes* (renard roux) qui est un prédateur de la souris à pattes blanches. Ce processus modifiant l'écosystème résulte en un accroissement de la population de la

souris à pattes blanches et en conséquence, un risque plus élevé d'infections de la tique par *B. burgdorferi*. (Levi, Kilpatrick, Mangel et Wilmers, 2012)

Les effets des changements climatiques dans l'hémisphère nord ont affecté les patrons de migration des oiseaux. À cause des hautes températures, certaines espèces d'oiseaux ne sont pas capables de s'adapter et de rester dans les régions où ils se déplacent normalement (Figure 2.10). Dans ces conditions, différentes espèces ont été contraintes de migrer vers le nord où les températures sont devenues appropriées à leur résidence temporaire. Ce phénomène a fait en sorte que les espèces d'oiseaux qui sont hôtes de *I. scapularis* sont maintenant capables d'apporter la tique dans de nouvelles régions. D'autre part, certaines espèces d'oiseaux ont la capacité d'être porteurs de la bactérie *B. burgdorferi*, ce qui augmente la probabilité que les tiques qui arrivent au Canada soient infectées. (Morshed et al., 2005; World Wide Fund for Nature Australia, 2006)

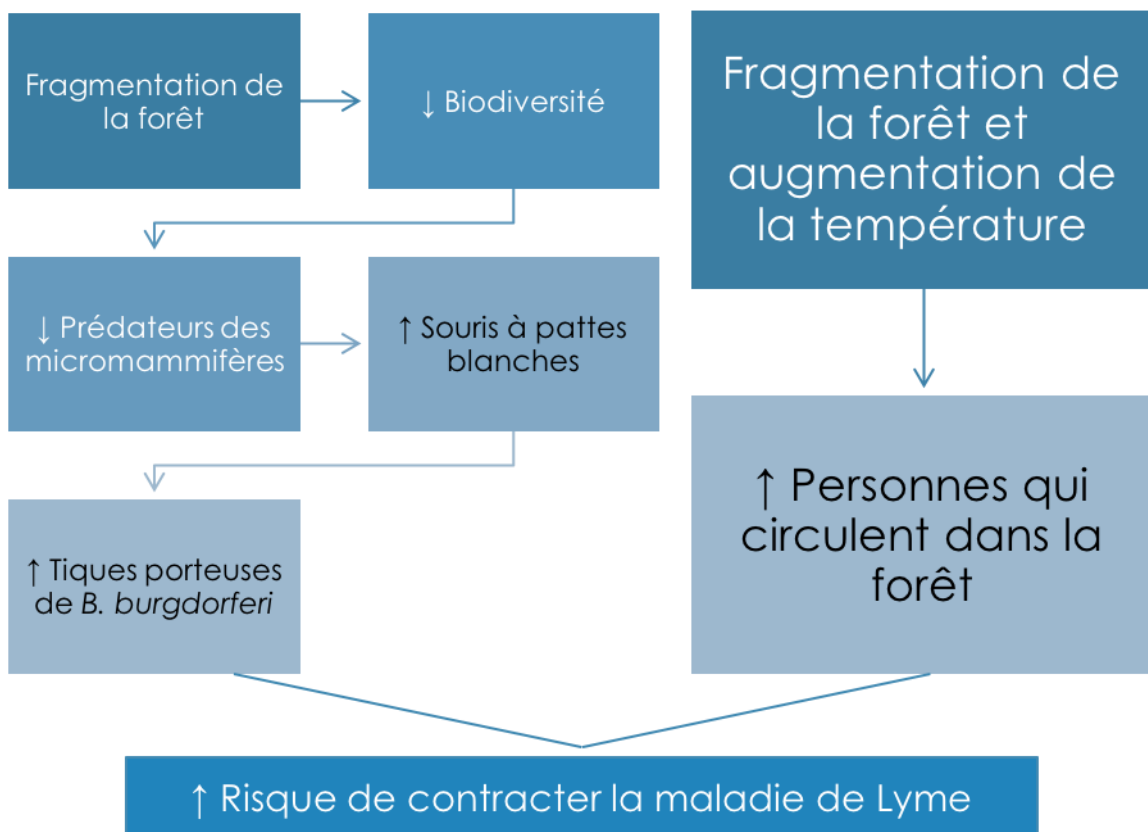


Figure 2.8 Effets de la fragmentation et de l'augmentation de la température associées à la maladie de Lyme (Inspiré de : Millien, 2013)

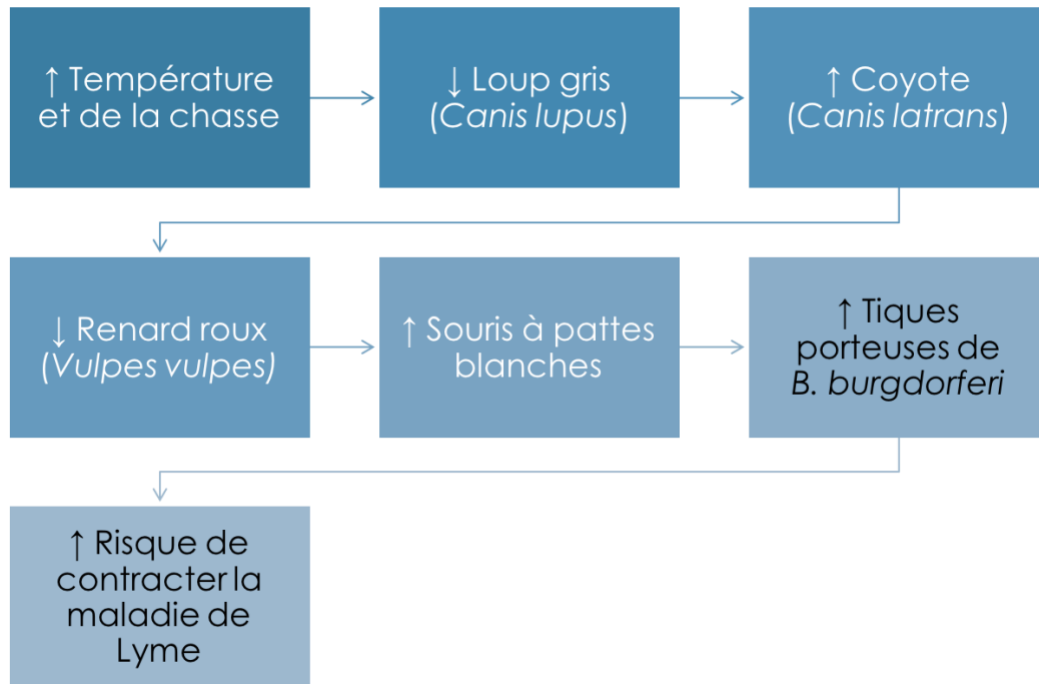


Figure 2.9 Effets de l'augmentation de la température et de la chasse associées à la maladie de Lyme
(inspiré de : Levi, Kilpatrick, Mangel et Wilmers, 2012)

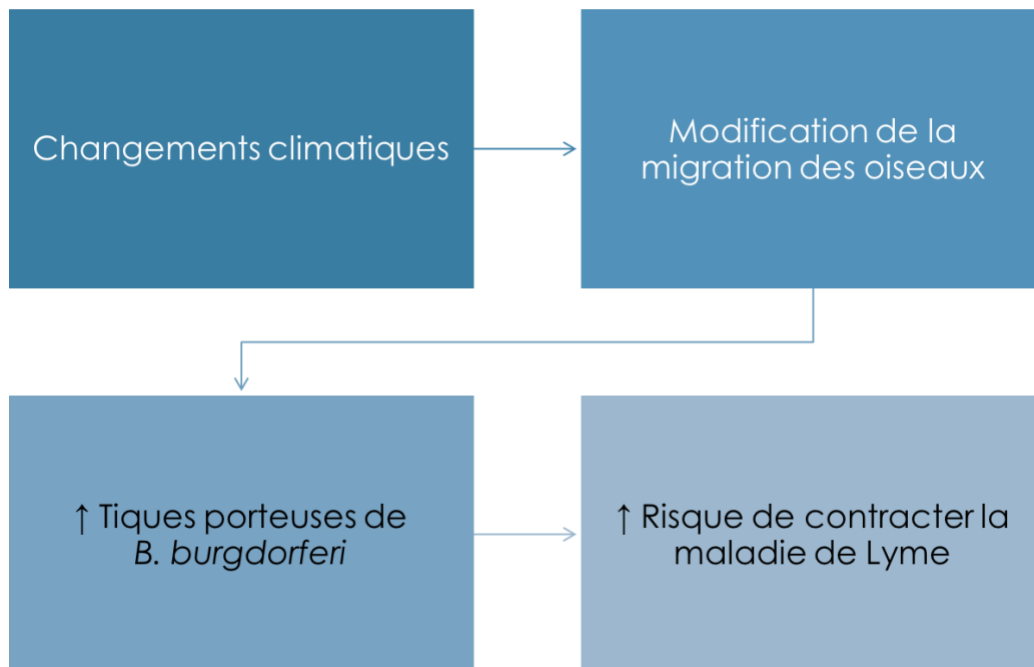


Figure 2.10 Effets du changement climatique sur la migration des oiseaux associés à la maladie de Lyme (inspiré de : Morshed et al., 2005; World Wide Fund for Nature Australia, 2006)

2.4 Mesures de prévention actuellement utilisées dans la région de l'Estrie

Ces dernières années, différentes mesures préventives ont été appliquées dans la région de l'Estrie. Tout d'abord, la surveillance humaine et de la tique, qui fait appel à la surveillance passive et active au début de cette section, permet de suivre l'évolution des cas de maladie de Lyme en fonction du lieu probable d'exposition ou du lieu de résidence. Ces informations sont essentielles pour savoir où et comment il est nécessaire d'intervenir auprès des résidents de la région touchée. (G. Baron, conférence de presse, 22 novembre 2017)

La Direction de santé publique de l'Estrie reconnaît qu'il est très important de communiquer à la population par rapport aux risques et aux pratiques de prévention de la maladie de Lyme. Ces dernières incluent entre autres l'application des insecticides, l'utilisation de vêtements protecteurs, les inspections des vêtements et du corps après l'exposition, qui vont être expliquées plus en détail dans la section sur les mesures ciblant les humains. Cette information est transmise grâce à des visites dans les endroits publics (p. ex. campings, parcs, garderies) où le risque de contracter la maladie est plus élevé. De plus, des affiches informatives ont été installées dans les parcs (Figure 2.11) et des vidéos ont été publiées sur la page Facebook « Équipe de santé publique de l'Estrie » et certains sites web des municipalités les plus à risque. (G. Baron, conférence de presse, 22 novembre 2017)



Figure 2.11 Affiche informative au Québec (tiré de : Radio-Canada, 2017c)

Pour informer la communauté médicale, l'INSPQ offre une formation en ligne, où l'épidémiologie de la maladie de Lyme, ainsi que les formes plus récentes de diagnostic et de traitement, sont revues. (G. Baron, conférence de presse, 22 novembre 2017). Des formations médicales continues sont aussi offertes de façon ponctuelle par la Direction de santé publique de l'Estrie aux cliniques médicales qui en font la demande.

De plus, les connaissances de la population estrienne en lien avec la maladie de Lyme ont été évaluées à l'aide de sondages en ligne. Ceux-ci ont montré que la population de l'Estrie est mieux informée chaque année par rapport à la prévention, aux symptômes, au traitement et surtout par rapport à la manière de réagir en cas de piqûre. (G. Baron, conférence de presse, 22 novembre 2017)

L'antibiothérapie prophylactique est une pratique qui implique la prise d'un antibiotique (doxycycline en une seule dose) après une piqûre de tique. Cette prophylaxie vise à prévenir l'infection. Elle s'utilise chez des patients ayant un risque élevé de contracter la maladie. Au Québec, cette pratique est recommandée depuis 2016, et elle est uniquement disponible dans des secteurs spécifiques de la région de l'Estrie et de la Montérégie présentant un risque accru de maladie de Lyme. Pour administrer la prophylaxie, il est nécessaire de respecter quatre conditions. La première est que la durée comprise entre le retrait de la tique et l'initiation de l'antibiothérapie soit inférieure à 72 h. La deuxième est que la tique doit être restée dans la peau pendant plus de 24 h. La troisième est que le patient doit avoir été piqué par une tique dans un secteur endémique au Québec (p. ex. RLS de la Pommerais ou de la Haute-Yamaska), au Canada ou à l'extérieur du pays (p. ex. à Connecticut). La dernière condition est que la doxycycline ne doit pas être contre-indiquée (p. ex. enfants de moins de 8 ans, personne allergique) (MSSS, 2017b). Aux États-Unis, cette mesure a démontré une efficacité allant jusqu'à 87 % (Nadelman et al., 2001).

En réponse à l'augmentation des cas diagnostiqués de la maladie de Lyme dans les RLS de la Haute-Yamaska et de la Pommerais, une ordonnance collective a été développée pour faciliter l'accès à l'antibiothérapie prophylactique dans ces deux RLS. Ce programme permettra l'administration de la prophylaxie sans devoir consulter un médecin. Le traitement préventif pourra ainsi être remis par une infirmière ou un infirmier dans une clinique médicale, ou par une pharmacienne ou un pharmacien, après une évaluation des risques. Cette mesure sera implantée au cours de l'année 2018. (G. Baron, conférence de presse, 22 novembre 2017)

Finalement, une vaste enquête populationnelle qui a comme but de mieux comprendre les connaissances, les attitudes et les comportements préventifs en regard de la maladie de Lyme chez les résidents de la région de l'Estrie, est prévue pour l'année 2018. (G. Baron, conférence de presse, 22 novembre 2017)

3. MÉTHODOLOGIE

Dans ce travail, deux grands types d'interventions ont été identifiées : celles qui sont présentement mises en place au Québec, soit les interventions ciblant les individus, et celles qui n'ont pas été encore mises en place, soit les interventions ciblant l'environnement. Pour les premières, une analyse qui traite de la manière dont elles ont été appliquées au Québec et à l'extérieur de la province sera présentée. Pour les interventions environnementales qui n'ont pas encore été mises en place au Québec, une recherche étoffée dans la littérature scientifique et la littérature grise a été effectuée. Les interventions environnementales ainsi répertoriées ont été analysées selon les dimensions écologique, sociale et économique, permettant ainsi de réaliser un examen de ces interventions selon une perspective de développement durable.

3.1 Recherche des mesures pour combattre la maladie de Lyme à l'extérieur du Québec

Les mesures examinées dans ce document ont été trouvées à partir d'une recherche réalisée dans trois banques de données recommandées par madame Hélène Bernier, bibliothécaire de l'Université de Sherbrooke spécialisée dans la section d'environnement, et par les Dres. Melissa Généaux et Geneviève Baron qui ont pris en compte le sujet de recherche pour cette sélection. Les banques de données sélectionnées ainsi que les mots-clés utilisés dans la recherche sont nommés dans le tableau 3.1. Cependant, la recherche des mesures n'a pas été limitée aux banques de données ; les sites gouvernementaux des villes avec un historique important de la maladie de Lyme ont également été inspectés.

Tableau 3.1 Banques de données et mots utilisés dans la recherche

Banque de données	Mots-clés utilisés	Nombre d'articles identifiés	Nombre d'articles sélectionnés
<i>Science Direct</i>	a. (lyme disease) and (control measure*)	a. 2329	a. 5
	b. (lyme disease) and (preventive measure*)	b. 386	b. 4
	c. (ixodes scapularis) and (control measure*)	c. 525	c. 4
	d. (ixodes scapularis) and (preventive measure*)	d. 63	d. 1
<i>Scopus</i>	a. "ixodes scapularis" OR "lyme disease" AND human* W/3 behavior*	a. 13	a. 3
	b. "ixodes scapularis" OR "lyme disease" AND measure* W/3 control*	b. 19	b. 3
	c. "ixodes scapularis" OR "lyme disease" AND prevention* W/3 measure*	c. 12	c. 4

Tableau 3.1 Banques de données et mots utilisés dans la recherche (suite)

Banque de données	Mots-clés utilisés	Nombre d'articles identifiés	Nombre d'articles sélectionnés
<i>PubMed</i>	a. ("lyme disease") AND ("prevention and control" OR "prevention" AND "control") OR ("prevention" OR "control") OR ("measure")	a. 14	b. 6

La banque de données *Science Direct* inclut une grande variété de livres et d'articles de journaux de différentes disciplines comme : sciences de l'environnement, biologie, médecine vétérinaire, biochimie, sciences de la santé, sciences humaines entre autres. Cette banque de données a été sélectionnée à cause de la variété de disciplines couvertes. Elle a permis de trouver des mesures qui lient différents domaines d'études qu'il ne serait pas possible de trouver par discipline (Science Direct, 2017). *Scopus* est « la plus grande banque de données des résumés et des citations évalués par des pairs » (Scopus, 2017). Il est recommandé de l'utiliser pour des recherches qui concernent de multiples disciplines, comme celle-ci. Finalement, *PubMed*, une banque de données de la *National Center for Biotechnology Information* (NCBI) a été choisie. Cette banque de données permet la recherche d'information dans le domaine biomédical et compte plus de 27 millions de citations incluant celles disponibles dans *MEDLINE*. (NCBI, 2017c)

Dans chaque banque de données, des filtres ont été appliqués dans les moteurs de recherche, dans le but d'obtenir une liste d'articles publiés entre 2010 et 2017 et disponibles en français, anglais ou espagnol. Le premier filtre a été choisi avec la directrice d'essai, Dre Généreux, pour trier les interventions les plus récentes dans la sélection d'interventions et le deuxième, puisque ces langues sont celles maîtrisées par l'équipe de travail. Des résultats obtenus, les 100 premiers résumés ont été lus afin de savoir lesquels pourraient offrir des informations utiles par rapport aux méthodes de contrôle pour la maladie de Lyme. Les articles ont été organisés par ordre de date de publication du plus récent au plus ancien, et ils ont été évalués de cette même manière. Le tableau 3.1 présente le nombre d'articles qui ont été trouvés par chaque moteur de recherche et ceux qui ont été sélectionnés pour une lecture complète. Plusieurs articles se répétaient, mais les chiffres des articles indiqués dans le tableau 3.1 n'incluent pas ces répétitions.

3.2 Analyse dans un contexte de développement durable

Avec l'intention d'analyser les interventions ciblant l'environnement selon les trois dimensions, la grille d'analyse des stratégies dans une vision de développement durable, créée par Éco-conseil et l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) a servi de cadre d'analyse, afin d'identifier les composantes qui touchent

chacune des mesures à l'intérieur de la dimension écologique, sociale et économique. Le tableau 3.2 présente les éléments de chaque dimension qui ont été pris en compte pour l'analyse des mesures dans ce travail. L'analyse des interventions individuelles mises en place au Québec sera d'abord présentée, suivie par l'analyse des mesures environnementales (tableau 3.3).

Tableau 3.2 Considérations pour l'analyse (inspiré de : Villeneuve, Riffon et Tremblay, 2014)

Dimension écologique	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation des ressources renouvelables <ul style="list-style-type: none"> ○ Planifier une utilisation judicieuse des ressources renouvelables. • Utilisation judicieuse des ressources non renouvelables <ul style="list-style-type: none"> ○ Favoriser le recyclage; ○ Évaluer la possibilité de remplacement. • Utilisation judicieuse de l'énergie • Maintien de la biodiversité <ul style="list-style-type: none"> ○ Développer des connaissances sur la biodiversité et sur les conditions de son maintien; ○ Mettre en place des mesures de suivi des indices de biodiversité; ○ Protéger les espèces rares ou menacées, ainsi que leurs habitats; ○ Valoriser les espèces à valeur symbolique.
Dimension sociale	<ul style="list-style-type: none"> • Recherche d'un état de santé optimal des populations <ul style="list-style-type: none"> ○ Améliorer ou maintenir l'état de santé de la population; ○ Adopter une approche de responsabilisation, de dépistage et de prévention; ○ Réduire les nuisances. • Recherche de conditions de sécurité <ul style="list-style-type: none"> ○ Privilégier les actions qui favorisent l'intégrité physique et psychologique; ○ Créer un sentiment de sécurité collective et individuelle; ○ Assurer une sécurité effective; • Intégration des individus à la société.
Dimension économique	<ul style="list-style-type: none"> • Possession et usages des biens et des capitaux • Qualité des biens et services • Production et consommation responsable • Viabilité financière • Opportunités de partage de la richesse <ul style="list-style-type: none"> ○ Favoriser l'accès au capital.

Tableau 3.3 Mesures de contrôle et de prévention de la maladie de Lyme

Interventions ciblant les individus (mises en place au Québec)	Mesures ciblant l'environnement (mises en place à l'extérieur du Québec)
<ul style="list-style-type: none"> • Éducation et sensibilisation de la population concernant les mesures préventives individuelles suivantes : 	<ul style="list-style-type: none"> • Interventions ciblant la tique <ul style="list-style-type: none"> ○ Pesticides chimiques ○ Champignons entomopathogènes

Tableau 3.3 Mesures de contrôle et de prévention de la maladie de Lyme (suite)

Interventions ciblant les individus (mises en place au Québec)	Mesures ciblant l'environnement (mises en place à l'extérieur du Québec)
<ul style="list-style-type: none"> ○ Habillement ○ Utilisation d'insecticides ○ Évitement des zones à risque élevé ○ Retrait de la tique 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Substances chimiques d'origine naturelle ● Interventions ciblant les chevreuils <ul style="list-style-type: none"> ○ Contrôle de la population des cerfs ○ Clôture à cerfs ○ <i>4- Poster</i> ● Interventions ciblant la souris <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Tick Tube</i> ○ Boîtes d'appât ● Modifications du paysage

4. ANALYSE DES INTERVENTIONS MISES EN PLACE AU QUÉBEC

Ce niveau inclut toutes les mesures de contrôle et de prévention visant à modifier les comportements des personnes. La plupart de ces interventions cherchent à réduire le contact avec la tique, en partant du principe que si la tique n'est pas en contact avec l'individu, elle ne sera capable de le piquer et par conséquent, elle ne pourra pas transmettre l'infection. Dans cette catégorie se trouvent les mesures associées à l'habillement, à l'utilisation des insectifuges, à l'éducation de la population, à l'évitement des zones à haut risque et au retrait de la tique en cas de piquûre.

4.1 Habillement

L'utilisation de chemises à manches longues, avec la partie inférieure à l'intérieur du pantalon, et de pantalons longs au-dessous des chaussettes hautes est recommandée, afin d'éviter le contact entre la tique et la peau. Cette mesure a démontré une efficacité supérieure à 40 % (CDC, 2017c; European Centre for Disease Prevention and Control [ECDC], 2015; Garcia-Alvarez, Palomar et Oteo, 2013; Ogden, Lindsay et Schofield, 2015; ASPC, 2015). Par ailleurs, l'emploi de vêtements de teintes claires est conseillé par l'ASPC au Canada (ASPC, 2015). Néanmoins, cette mesure n'est pas suggérée dans l'Union européenne ni aux États-Unis (CDC, 2017c; ECDC, 2015). De plus, une étude réalisée en 2005, qui comparait les vêtements clairs et foncés et leur capacité à attirer des tiques, a montré que le nombre de tiques attirées par les vêtements clairs est plus important que le nombre de tiques attirées par les vêtements foncés. La raison principale derrière la recommandation du port d'habits clairs est la possibilité de repérer plus facilement les tiques sur les vêtements dans le but de les retirer. Pourtant, l'étude de Stjernberg et Berglund, qui a également comparé la capacité de trouver les tiques dans les articles vestimentaires, conclut que la couleur claire n'augmente pas la capacité de trouver et reconnaître les tiques dans les articles vestimentaires. (Stjernberg et Berglund, 2005)

Le traitement des articles vestimentaires avec de la perméthrine, un type d'arachnicide et d'insecticide qui attaque le système nerveux des tiques, est également recommandé (CDC, 2017c; ECDC, 2015; ASPC, 2015). La perméthrine a été démontrée efficace contre *I. scapularis* en apportant une protection supérieure à 97 % durant les premiers deux jours d'utilisation, et de 84 % les 7 jours suivant l'application (Eisen et Dolan, 2016; Jordan, Schulze et Dolan, 2012). Toutefois, cette substance est hautement toxique pour l'écosystème, les organismes estuariens et d'eau douce ainsi que les abeilles qui figurent parmi les organismes les plus touchés (United States Environmental Protection Agency [EPA], 2009). Actuellement, la perméthrine est disponible aux États-Unis dans les pharmacies, dans les magasins sportifs ou pour

l'achat en ligne ; des vêtements traités préalablement avec perméthrine sont aussi disponibles (EPA, 2017). Au Canada, la perméthrine applicable sur les vêtements n'est uniquement disponible que pour les uniformes militaires. Cependant, son utilisation est recommandée par l'ASPC aux citoyens qui visitent une région endémique. (Government of Canada, 2016; ASPC, 2015)

Après l'activité dans une zone en risque, il est bon de faire un examen des vêtements et de retirer les tiques observées. Une inspection exhaustive du corps et des pieds est aussi recommandée, spécialement pour les enfants et pour les personnes âgées. Si des tiques ne sont pas observées, une manière de réduire le risque de présence de la tique dans la maison ou dans les vêtements est de sécher à haute température les habits utilisés. (CDC, 2017c; ASPC, 2015) Cette mesure permet de tuer plus de 95 % des tiques quand les vêtements sont séchés à haute température (54 à 85 °C) pendant 6 minutes ou plus (Nelson et al., 2016).

4.2 Utilisation des insectifuges

Il existe différents types d'insectifuges, le plus conseillé étant le N,N-diéthyl-3-méthylbenzamide (DEET) (CDC, 2017c; ASPC, 2015). Cette substance a été créée dans les années 1940 par le département d'agriculture des États-Unis et l'armée américaine. Présentement, le mécanisme d'action insectifuge du DEET n'est pas bien connu. Les études ont montré que le DEET permet de masquer la capacité d'identification d'odeurs chez les insectes et les arachnides; de cette manière, ils ne sont pas capables d'identifier les humains. (DeGennaro, 2015) Le DEET, facilement accessible, a démontré une protection supérieure à 80 % contre *I. scapularis* (Eisen et Dolan, 2016). L'ASPC recommande d'utiliser le DEET à 30 % pour les adultes et à 10 % pour les enfants en solution topique (ASPC, 2016). Dans l'écosystème, le DEET s'accumule dans le sol et dans les eaux, toutefois, jusqu'à aujourd'hui les concentrations trouvées n'ont pas été démontrées comme étant toxiques. Cependant, plus d'études concernant les eaux sont nécessaires pour écarter hors de tout doute sa nocivité dans le futur. (Weeks, Guiney et Nikiforov, 2012)

Au Canada, un autre insectifuge recommandé est l'icaridine ou le picaridine, aussi connu comme picardine (ASPC, 2015). Comme le DEET, on croit que l'icaridine affecte la capacité des insectes et de quelques arachnides comme les tiques de reconnaître les odeurs humaines (Bohbot et Dickens, 2010). Une étude par Büchel, Bendin, Gharbi, Rahlenbeck et Dautel suggère que l'icaridine a une efficacité similaire à celle du DEET contre *I. scapularis*. (Büchel, Bendin, Gharbi, Rahlenbeck et Dautel, 2015) Dans l'écosystème,

l'icaridine a cependant été démontrée comme étant modérément toxique pour certaines espèces de poissons. (National Pesticide Information Center [NPIC], 2009b)

4.3 Évitement des zones à grand risque

Même si être exposé à une région où la tique est présente est un risque en soi, il existe des zones précises à l'intérieur de ces régions qui présentent un risque encore plus élevé. Le CDC recommande d'éviter les zones broussailleuses, boisées et avec des herbes hautes. De plus, ils conseillent de marcher sur les sentiers dans la forêt afin d'éviter de trop s'approcher d'une zone riche en tiques. (CDC, 2017c)

4.4 Retrait la tique

Lorsqu'une tique est observée par une personne, elle peut être retirée de la peau avec une pince à épiler ou une pince la plus fine possible. Pour retirer la tique, la pince doit être placée très proche de la peau, mais en évitant d'agripper la tique par l'abdomen. Une fois que la tique est correctement agrippée, elle peut être retirée avec un mouvement perpendiculaire à la surface de la peau. Si l'hypostome (bouche de la tique) n'est pas enlevé, il est possible d'essayer une deuxième fois afin de le retirer complètement. Toutefois, si le corps est correctement extrait, l'hypostome seul ne peut pas transmettre *B. burgdorferi*. (Lambert et al., 2013; The Connecticut Agricultural Experiment Station, 2007) Il est important de retirer la tique le plus rapidement possible (en moins de 24 h) afin de réduire le risque de transmission. (Gouvernement du Québec, 2017a)

Après que la tique soit correctement retirée, il est nécessaire de nettoyer la région de la peau qui a été piquée. Cela peut être fait avec de l'eau et du savon (Gouvernement du Québec, 2017b). Ensuite, la région et la date auxquelles la piqûre est survenue doivent être notées. Cette information sera utile si une consultation avec un médecin s'avérait nécessaire. La tique doit être maintenue dans un contenant ou un sac en plastique. Si elle est morte, elle doit être gardée à une température de -20 et, si elle est vivante, la tique doit être gardée avec un brin d'herbe. De cette manière, la tique pourra être apportée lors de la consultation médicale afin d'être testée pour la recherche de la bactérie causant la maladie de Lyme, à des fins de surveillance passive. (Garcia-Alvarez, Palomar et Oteo, 2013; The Connecticut Agricultural Experiment Station, 2007)

5. INTERVENTIONS ENVIRONNEMENTALES

Dans cette section, les différents types d'interventions ciblant l'environnement qui ont été identifiées à partir de la recherche de la littérature vont être exposés. Rappelons qu'à l'opposé des mesures individuelles, aucune de ces interventions ne sont actuellement appliquées au Québec. Ces interventions ont été classifiées à l'intérieur de trois groupes, selon l'espèce ciblée par l'intervention : la tique, le cerf et la souris. Une classe supplémentaire a été créée pour toutes les mesures qui ciblent la modification du paysage.

5.1 Interventions ciblant la tique

Dans cette section, les mesures ciblant la tique vont être présentées. Celles-ci sont : les pesticides chimiques, les substances avec propriétés insecticides d'origine naturelle et les champignons entomopathogènes.

5.1.1 Pesticides chimiques

Depuis les années 1980, des pesticides chimiques ont commencé à être utilisés contre *I. scapularis*. Ces substances sont appliquées dans la pelouse et dans la végétation en granules ou sous forme de sprays. Basé sur le cycle de transmission de la maladie de Lyme, le pesticide idéal serait celui qui agit pendant une période de 8 à 12 semaines en congruence avec les pics d'activité de la tique. (Eisen et Dolan, 2016)

Dans la catégorie des carbamates, celui qui a été utilisé le plus dans les interventions préventives de la maladie de Lyme est le carbaryl. Cette substance agit en affectant le système nerveux des insectes par l'inhibition de l'enzyme acétylcholinestérase (Santé, Agriculture et Environnement [SAgE], 2017a). L'utilisation du carbaryl dans le pâturage atteint une suppression des nymphes majeures à 90 %, avec une application en spray à haute pression dans une période de 7 à 8 semaines. Dix semaines après l'application, son effet peut descendre à 45 % (Eisen et Dolan, 2016 ; Stafford, 1991). Des pourcentages d'action plus bas ont été observés avec l'application par granules (Schulze, Jordan et Hung, 2000). Le carbaryl est disponible au Canada; il est utilisé à la fois dans des zones agricoles et non agricoles et peut être appliqué avec un équipement terrestre ou aérien. Au Québec, le carbaryl est la substance de choix pour l'éclaircissage des pommiers (Santé Canada, 2016).

Des pyréthrinoides, la deltaméthrine se distingue par sa double utilisation ; elle peut être utilisée pendant le printemps ou l'automne en dose unique. Cette substance agit par l'altération du transit de l'ion sodium

dans le système nerveux des insectes (SAGe Pesticides, 2017c). L'application de deltaméthrine en granules pendant le printemps engendre une réduction de jusqu'à 100 % des nymphes à la cinquième semaine d'évaluation (Schulze, Jordan et Krivenko, 2005). D'un autre côté, l'application en spray à haute pression pendant l'automne réduit de 100 % les nymphes 6 à 7 mois après l'application (en avril et mai). Cette dernière forme d'application a été essayée dans des régions forestières afin de réduire le risque de piqûre par la tique au début du printemps. La protection au début de cette saison n'est pas offerte avec l'application des pesticides pendant le printemps à cause du temps nécessaire pour que le pesticide agisse contre la tique (Schulze, Jordan, Schulze et Healy, 2008). Comme le carbaryl, la deltaméthrine est disponible au Canada et elle est utilisée dans les zones agricoles et non agricoles, mais surtout dans les cultures de grande production et dans les plantes ornementales sur les bordures des routes (Santé Canada, 2015).

Des organophosphorés, le chlorpyrifos ou chlorpyriphos-éthyl a été le plus utilisé pour attaquer la tique. Cette substance agit par l'inhibition de l'enzyme acétylcholinestérase, et de cette forme, elle empêche l'influx nerveux de l'insecte (SAGe Pesticides, 2017c). L'application d'une dose unique du chlorpyriphos-éthyl par vaporisateur à basse ou à haute pression entraîne une réduction de 100 % et de 85 % des nymphes respectivement, au cours d'une période de 6 semaines (Allan et Patrican, 1995; Curran, Fish et Piesman, 1993). Au Canada, le chlorpyrifos est utilisé principalement dans les cultures d'orge, de blé et d'avoine pour combattre les parasites. Dans les zones résidentielles, il est utilisé pour contrôler la population d'insectes ravageurs (Conseil canadien des ministres de l'environnement, 1999).

5.1.2 Substances chimiques d'origine naturelle

Des substances chimiques d'origine naturelle ont également été essayées, dont la pyréthrine, une substance dérivée des plantes du genre *Chrysanthemum* qui agit en modifiant le passage des ions de sodium dans la membrane des neurones des insectes. L'étude menée par Patrican et Allan montre que l'application de pyréthrine peut produire une réduction de 100 % des nymphes pendant la première semaine. Toutefois, après trois semaines, son effet diminue à 33 %. (Patrican et Allan, 1995) La réduction de l'effet arachnicide peut s'expliquer par la sensibilité de la molécule à l'oxygène et à la lumière solaire (Eisen et Dolan, 2016).

Le nootkatone est une autre substance naturelle dérivée du *Citrus × paradisi* (Pomelo) dont l'activité arachnicide a été également évaluée. Les études suggèrent que le nootkatone n'est pas trop efficace

lorsqu'appliqué par vaporisateur à basse pression et en dose unique. Toutefois, deux doses peuvent diminuer de 96 % les tiques dans une région forestière en six semaines. (Dolan et al., 2009) L'application par vaporisateur à haute pression en zones forestières a engendré une réduction de *I. scapularis* de 100 %, en une période de 6 semaines (Dolan et al., 2009; Jordan, Dolan, Piesman et Schulze, 2011). De plus, il existe une version encapsulée de la molécule qui la rend plus résistante à l'oxygène et à la lumière solaire (Eisen et Dolan, 2016). Dans les zones résidentielles, cette version a été évaluée dans les villes de Salisbury, de Falls Village, et de Cornwall dans Litchfield et curieusement, les doses les plus basses ont été les plus efficaces contre *I. scapularis* (réduction de 100 % en 4 semaines) (Bharadwaj, Stafford et Behle, 2012).

5.1.3 Champignons entomopathogènes : *Metarhizium anisopliae*

En raison des multiples cas de résistance des tiques aux arachnicides chimiques, des champignons entomopathogènes ont été proposés comme solution efficace contre les tiques. De plus, ils résolvent les problèmes de résistance et d'altération environnementale produits par les arachnicides. Les champignons entomopathogènes sont des microorganismes capables de parasiter les tiques et d'autres arthropodes. Ces champignons parviennent à tuer la tique en trois étapes. La première étape est la pénétration et la germination dans l'hôte. La deuxième est la reproduction du champignon et la troisième est la production et la libération de substances toxiques. Les trois étapes sont nécessaires pour tuer la tique, et les trois sont dépendantes des niveaux d'humidité et de la température. Présentement, le champignon *Metarhizium anisopliae* est disponible dans le marché américain sous le nom « *Tick-EX EC* », au Honduras sous le nom « *Metazam* » et au Brésil sous le nom « *Metaril SC 1037* ». (Fernandes, Bittencourt et Roberts, 2012)

Aux États-Unis, *M. anisopliae* est utilisé dans des régions urbaines et rurales contre les tiques, les coléoptères, les mouches et les moucheron entre autres espèces (EPA, 2003). Une étude menée aux États-Unis a montré que l'utilisation de *M. anisopliae* dans des boîtes à nid peut entraîner une mortalité de 75 % de *I. scapularis*. De plus, les auteurs de cette étude ont commenté que l'effet de *M. anisopliae* peut être supérieur avec une plus grande quantité de boîtes à nid (Benjamin, Hornbostel et Ostfeld, 2005). Toutefois, les cultures et la manipulation de *M. anisopliae* en laboratoire doivent être délicates, puisque les champignons sont également sensibles aux changements de pH, aux mouvements et aux milieux de culture. Ces conditions rendent difficile l'utilisation de ces microorganismes (Fernandes, Bittencourt et Roberts, 2012).

5.2 Les mesures orientées vers la tique dans une perspective de développement durable

Dans cette section, les différentes mesures ciblant la tique, décrites précédemment, seront examinées dans une perspective écologique, sociale et économique.

5.2.1 Dimension écologique

L'application directe du carbaryl au sol peut affecter les espèces non ciblées. Cette substance est hautement toxique pour les abeilles, faiblement toxique pour les oiseaux et extrêmement toxique pour les espèces aquatiques (SAGÉ, 2017a). En conséquence, au Canada, l'application directe du carbaryl dans l'eau est interdite, et l'utilisation en période de floraison et proche des eaux non ciblées est restreinte (Santé Canada 2016). En effet, l'application en spray favorise le dépôt de molécules dans l'eau, quand la région ciblée se trouve près d'une source d'eau. Le carbaryl peut être biodégradé par des microorganismes dans le sol et dans l'eau, il est faiblement persistant dans ces deux environnements et sa demi-vie peut varier de 4 à 27 jours selon le type de sol et de 6 à 30 jours dans l'eau (SAGÉ, 2017a). Des niveaux élevés transitoires peuvent être mesurés après un déversement accidentel ou après le nettoyage des dispositifs d'application (Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2009). Il est peu probable que le carbaryl pollue les eaux souterraines, puisqu'il est modérément mobile dans le sol, et il est présent généralement dans les 30 premiers centimètres de profondeur du sol (Santé Canada, 2016).

Dans l'écosystème, la deltaméthrine est faiblement toxique pour les oiseaux, hautement toxique pour les abeilles et extrêmement toxique pour les espèces aquatiques. Cette substance est modérément persistante dans les sols (demi-vie de 6 à 114 jours, selon le type de sol) et faiblement dans l'eau (demi-vie de 31 à 85 jours). Puisqu'elle a une grande affinité pour le sol, elle arrive rarement à contaminer les eaux souterraines. Malheureusement, dans le sol, la perméthrine peut se minéraliser en CO₂, qui est un gaz à effet serre et, ainsi, sa dégradation peut contribuer au changement climatique, dépendamment de la quantité utilisée et minéralisée (SAGÉ Pesticides, 2017c). Selon Santé Canada, « la deltaméthrine ne devrait pas poser de risque inacceptable pour l'environnement si elle est utilisée conformément au mode d'emploi proposé sur l'étiquette » (Santé Canada, 2015).

Le chlorpyrifos est hautement toxique pour les abeilles et pour les oiseaux. Pour les espèces aquatiques, il est extrêmement toxique et ses produits de dégradation le sont également. De plus, le chlorpyrifos peut se bioaccumuler chez les organismes aquatiques. Cela veut dire que cette substance peut rester dans le corps des poissons et demeurer dans la chaîne alimentaire, jusqu'à qu'elle soit présente chez les

mammifères de grande taille. Le chlorypyrifos est faiblement ou modérément persistant dans le sol, et sa demi-vie varie de 1 à 180 jours selon le type de sol. Son produit de dégradation le plus fréquent est le 3,5,6-trichloropyridin-2-ol (TCP) qui est modérément persistant dans le sol. Dans l'eau, la demi-vie du chlorypyrifos est de 16 à 72 jours selon le pH du milieu. Cette molécule est modérément mobile dans les sols, et par conséquent, elle peut contaminer les eaux souterraines et sa capacité de lessivage est aussi élevée. (SAGe Pesticides, 2017b)

Dans l'environnement, la pyréthrine est hautement toxique pour les abeilles, faiblement toxique pour les oiseaux, et extrêmement toxique pour les espèces aquatiques dans lesquelles elle peut se bioaccumuler. La pyréthrine est rapidement biodégradée dans le sol, sa demi-vie est de 1 jour ou moins et, dans l'eau, elle est de 9 à 10 jours en conditions aérobies. En conditions anaérobies, le processus peut se prolonger jusqu'à 86 jours. Le potentiel de lessivage de la pyréthrine est faible; elle arrive rarement à contaminer les eaux souterraines. Par contre, la contamination des eaux de surface est plus fréquente à cause des applications à proximité ou de l'érosion. (SAGe Pesticides, 2017d)

La nootkatone, qui est utilisée comme biopesticide, est rapidement volatilisée dans l'atmosphère où elle est dégradée par le radical hydroxyle, par l'ozone et par les rayonnements ultraviolets. Par conséquent, elle peut affecter la couche d'ozone selon la quantité émise (NCBI, 2017a). Toutefois, la majorité de la nootkatone est dégradée par le radical nitrate et non par la molécule d'ozone (Olivier, 2015). Afin d'évaluer la gravité de son impact dans la couche d'ozone, des études additionnelles sont nécessaires. Sa demi-vie dans l'atmosphère peut varier de 2 à 12 heures. Dans le sol, la nootkatone est rapidement volatilisée, mais elle est mobile dans ce milieu. Dans l'eau, elle se volatilise ou peut s'intégrer aux matières en suspension et progressivement aux sédiments. De plus, cette molécule est capable de se bioaccumuler dans les espèces aquatiques. Selon les études chez des animaux, la nootkatone peut être toxique et mortelle pour les fourmis, les termites, les moustiques, les coquerelles et les tiques. Chez les souris, les études ont démontré une accumulation d'alpha-globulines dans les reins, secondaire à l'administration de 10 mg/kg de nootkatone oralement. Pour d'autres espèces, des études additionnelles sont nécessaires. (NCBI, 2017a)

Le champignon *M. anisopliae* ne représente pas de risque ou de danger pour les oiseaux, les mammifères, les abeilles, les poissons, ni les plantes aquatiques ou terrestres. Cependant, certaines études ont observé

des effets toxiques chez quelques espèces d'invertébrés aquatiques, ce qui fait en sorte que l'EPA n'autorise pas son utilisation dans l'eau. (EPA, 2003)

5.2.2 Dimension sociale

Chez les humains, une exposition aiguë au carbaryl peut produire des réactions cutanées et respiratoires légères (SAGÉ, 2017a). Cette substance est modérément toxique par voie orale et sa consommation accidentelle, selon la dose, peut produire des nausées, des vomissements, des céphalées, de la bronchoconstriction, de la vision floue, des convulsions, de l'insuffisance respiratoire et le coma. De surcroît, l'exposition chronique peut produire des lésions hépatiques ou rénales et des symptômes comme des céphalées, de la faiblesse musculaire et de la perte de mémoire entre autres. Selon l'EPA, il n'a pas été démontré que le carbaryl est associé à un risque accru de cancer et il n'y a pas d'études rapportant d'effets reproductifs chez les humains. (EPA, 2000)

L'exposition aiguë à la deltaméthrine peut causer de l'irritation de la peau et des paresthésies temporaires pendant le contact avec cette substance. Chroniquement, il n'a pas été démontré que la deltaméthrine cause des symptômes ou des maladies et comme le carbaryl, elle n'est pas associée à un risque accru de cancer ou à des effets négatifs au niveau de la reproduction. (SAGÉ Pesticides, 2017c)

Le chlorpyrifos est extrêmement toxique pour la peau, et modérément toxique pour le système respiratoire. En grandes quantités, il peut produire des nausées, de la confusion, des convulsions, de l'insuffisance respiratoire et la mort (EPA, 2002 ; NCBI, 2017b). L'exposition chronique peut causer une inhibition de l'enzyme acétylcholinestérase, selon des études menées sur les animaux, des altérations visuelles, du foie, des glandes et du système hématologique peuvent aussi être observées. De plus, des altérations du neurodéveloppement ont été observées chez les fœtus des souris (NCBI, 2017b; SAGÉ Pesticides, 2017b). Cependant, il « n'a pas causé de génotoxicité dans des systèmes mammaliens et il n'est pas considéré comme un perturbateur endocrinien » (SAGÉ Pesticides, 2017b).

L'exposition aiguë à la pyréthrine peut causer différents types de réactions cutanées, de même qu'une irritation des voies respiratoires et des yeux, mais ces réactions ne sont pas fréquentes. Chroniquement, la pyréthrine peut produire des altérations du foie, de la thyroïde et neurocomportementales selon les études réalisées chez des animaux. Cette substance n'est pas dangereuse pour la reproduction, ni génotoxique. (SAGÉ Pesticides, 2017d)

Jusqu'à aujourd'hui, des effets toxiques secondaires à l'utilisation de la nootkatone chez les humains n'ont pas pu être démontrés. D'autre part, il s'agit d'une substance utilisée comme agent aromatisant dans plusieurs aliments globalement. (NCBI, 2017a)

Selon l'EPA, l'exposition par le contact direct, la consommation ou l'inhalation de *M. anisopliae* n'est pas associée à aucun risque pour la santé humaine. (EPA, 2003)

5.2.3 Dimension économique

Pour examiner la valeur économique des interventions mentionnées précédemment (pesticides chimiques et substances d'origine naturelle), il importe de prendre en compte la taille et le type de région où les substances vont être appliquées, la méthode et l'équipement d'application, la pureté de la substance appliquée, la quantité de plantes présentes (p. ex. rural ou urbain) et la présentation (p. ex. granules ou vaporisateur). Tous ces facteurs devraient être discutés avec l'entreprise qui réalisera la gestion de l'application de ces substances. Selon le cas, la recommandation la plus convenable pour le terrain ou la région sélectionnée sera émise (V. Roy, courriel, 3 novembre 2017). Les deux mesures, soit les substances chimiques et naturelles, favoriseraient l'accès au travail et au développement économique pour les entreprises qui gèrent l'application des pesticides et pour ceux qui les produisent.

5.3 Réglementation associée aux mesures dirigées à la tique

Pour qu'un pesticide soit utilisé, vendu, fabriqué ou importé au Canada, la substance doit être homologuée par Santé Canada, plus spécifiquement par l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) qui est en charge de l'application de la Loi sur les produits antiparasitaires (LPA). Afin qu'un pesticide soit homologué, des évaluations par rapport aux effets environnementaux et sur la santé doivent être faits. De plus, l'efficacité du produit pour combattre l'organisme cible est également examinée dans la littérature scientifique. Une fois que le produit est homologué, il est soumis à une réévaluation à tous les 15 ans afin d'assurer l'utilisation des pesticides les plus efficaces et les plus sécuritaires pour la santé humaine et pour l'environnement (Santé Canada, 2009 c). Au niveau provincial, en vertu de la Loi Constitutionnelle, le Québec peut mettre en place des réglementations ou législations visant l'interdiction ou l'utilisation des substances homologuées. Cependant, elles ne peuvent être moins restrictives que celles établies par le gouvernement fédéral. Finalement, au niveau municipal, en vertu du Code civil du Québec, il est également possible de restreindre l'utilisation de certains pesticides (Santé Canada, 2009a). Le tableau 5.1 montre les substances mentionnées dans cette section et le nombre de produits homologués qui les

contiennent. Toutefois, avant d’implanter ces types d’interventions, il est nécessaire de valider auprès de la municipalité si ces pesticides sont acceptés ou non.

Tableau 5.1 Substances pour combattre *I. scapularis* et le nombre de produits homologués qui les contiennent (inspiré de : Santé Canada, 2010 ; MDDELCC, 2015)

Substance	Produits homologués au Canada	Vendu au Québec (2015)
Carbaryl	30	Oui
Deltaméthrine	12	Oui
Chlorpyrifos	28	Oui
Pyréthrine	535	Oui
Nootkatone	Non homologué	Non
<i>M. anisopliae</i>	Non homologué	Non

5.4 Interventions ciblant les chevreuils

Dans cette section, les mesures ciblant les cerfs seront présentées, dont le contrôle de la population de cerfs, l’implantation de clôtures à cerfs et le *4-Poster*.

5.4.1 Contrôle de la population de cerfs

Plusieurs études ont évalué l’impact du changement de densités de la population de chevreuils sur la population de *I. scapularis* dans différentes régions. Les résultats ont montré que la présence de cinq chevreuils ou moins par kilomètre carré est associée à une réduction significative de la population de *I. scapularis* à long terme (Kilpatrick, Labonte et Stafford, 2014). Une diminution de la population de cerfs à Bridgeport (Connecticut) de 97/km² à 25/km² a permis de baisser de 90 % la population de tiques dans une région de 1,8/km² en dix ans. Dans l’île Monhegan, il y a eu une réduction des tiques de 100 % avec une réduction de 100 % des chevreuils dans une zone de 2,4/km² en six ans (Kugeler, Jordan, Schulze, Griffith et Mead, 2016). D’autres études avec densité de cerfs inférieure à 40/km² n’ont pas montré de résultats significatifs quant à la diminution de la population des tiques (Jordan, Schulze et Jahn, 2007). Le pourcentage de réduction et sa réponse peuvent être dépendants de la densité initiale de chevreuils dans la région, de la taille de la zone, ainsi que du type de région (résidentielle versus forestière).

Il y a différents moyens pour contrôler la population de cerfs. La meilleure manière est la chasse légale contrôlée. Pour que cette méthode soit efficace, il est nécessaire d’éduquer les chasseurs sur l’identification des cerfs femelles et mâles, puisque c’est grâce à la chasse des femelles qu’un contrôle

adéquat de la population sera obtenu. Il est également essentiel de sélectionner la région et ses limites ainsi que d'avoir un registre de la population de cerfs pendant la saison de chasse. Cette méthode produira également une dispersion secondaire de la population des cerfs, ce qui est également utile. Il est cependant important de prendre en compte le dilemme éthique que ce type de mesure peut produire. D'autres façons de réduire la population des cerfs incluent la stérilisation et la relocalisation. Toutefois, ces mesures sont trop coûteuses en comparaison avec la chasse. De plus, elles ne sont pas si efficaces et exigent une planification plus extensive. (University of Illinois, 2017)

5.4.2 Clôtures à cerfs

Les clôtures à chevreuils ont été proposées comme un moyen de contrôle, puisqu'elles permettent d'avoir une distance de protection entre l'hôte d'une part, et la tique et l'humain d'autre part, ce qui réduit le risque de se faire piquer. Il y a deux grandes catégories de clôtures, les électriques et les non électriques. Les clôtures électriques sont recommandées pour la protection des régions où la densité de la population de chevreuils est élevée. Ce type de clôture a montré une capacité de réduction de 84 % pour les nymphes et de 100 % pour l'état de larve à 65 mètres de la clôture (The Connecticut Agricultural Experiment Station, 2007). Les clôtures non électriques sont les plus utilisées. Selon les études réalisées à New York, l'implantation d'une clôture de 3 ha ou plus peut produire une réduction de la population de tiques de 75 % et de nymphes de 45 % dans les zones résidentielles. Cependant, les clôtures de 1,23 ha ou moins ont montré une réduction non significative de tiques et de nymphes dans les zones d'évaluation (Ginsberg et al., 2004; Thomas et al., 2009). La hauteur standard des clôtures utilisées dans les études est de 2,2 mètres. Un cerf est capable de sauter une clôture de cette hauteur, toutefois, il est plus fréquent qu'il tente de la forcer par la partie inférieure de celle-ci. L'installation des clôtures à 45 ° est également utilisée pour empêcher le passage des chevreuils en sautant dessus ou par les ruptures causées dans la partie inférieure d'une clôture verticale (Figure 5.1). Néanmoins, cette clôture prend plus d'espace, approximativement 1,8 mètre (The Connecticut Agricultural Experiment Station, 2007). Un article de révision du département de l'agriculture des États-Unis fait une comparaison entre les différents types de clôtures à cerfs et leur efficacité pour maintenir le cerf à l'extérieur de la région protégée. Selon cette étude, leur coût, leur longévité, la hauteur et la fréquence d'entretien démontrent que les clôtures en treillis de fils métalliques et en maillon de chaîne sont à privilégier (VerCauteren, Lavelle et Hygnstrom, 2006). L'intervention par la clôture pourrait également contribuer à réduire significativement la population de tiques dans une période de cinq ans ou plus après l'installation de la clôture. Par conséquent, il s'agit d'une mesure ayant un potentiel de résultats à long terme (Ginsberg et al., 2004; Thomas et al., 2009).



Figure 5.1 Clôture à chevreuil à 45 ° (tiré de : Hansen, 2007)

5.4.3 Dispositif : 4-Poster

Le 4-Poster est un dispositif qui permet l'application topique d'arachnides sur les chevreuils (Figure 5.2). Le dispositif compte deux stations d'alimentation qui attirent les chevreuils. Pendant qu'ils se nourrissent, deux rouleaux imprégnés d'arachnide appliquent cette substance sur le chevreuil (Shelter Island Reporter, 2012).

La méta-analyse de Brei *et al.* a montré une réduction de *I. scapularis* de 39 % après 2 années d'utilisation du 4-Poster. Dans l'étude, le dispositif a été placé avec une densité de 1 pour chaque 20 à 25 hectares dans les États de New York, Rhode Island, New Jersey, Maryland et Connecticut. Quatre et six années après l'installation, des réductions de tiques de 62 % et de 71 % ont été observées respectivement. (Brei, 2009; Eisen et Dolan, 2016). Dans le rapport du CDC, il a été montré que cette mesure est capable de réduire « modérément la population de tiques ». Des études à long terme sont toutefois nécessaires pour évaluer l'efficacité de cette mesure sur la réduction de l'incidence de la maladie de Lyme (National Center for Environmental Health, s. d.). Une considération additionnelle est la sélection de l'emplacement afin que l'utilisation du 4-Poster soit optimale. Le distributeur du 4-poster recommande l'installation d'un module pour 20 à 27 hectares dans une zone éloignée de la canopée (A. Szulinski, courriel, 16 octobre 2017).



Figure 5.2 Dispositif : 4-Poster (tiré de : Shelter Island Reporter, 2012)

5.5 Les interventions ciblant cerfs dans une perspective de développement durable

Dans cette section, les mesures ciblant les cerfs seront examinées dans une perspective écologique, sociale et économique.

5.5.1 Dimension écologique

En 2008, il y avait près de 101 000 cerfs de Virginie sur le territoire de l'Estrie, de la Montérégie et de l'Outaouais, ce qui représente 47 % des cerfs, de cette espèce, dans le continent. Dans la région de l'Estrie, la densité approximative est de 9,6 cerfs/km², ce qui est une des plus élevées au Québec. La région de l'Estrie est plus attrayante pour le cerf à cause des cultures de blé d'Inde et des modifications du climat secondaires aux changements climatiques. À cause de la haute densité dans la région, la chasse a été favorisée ces dernières années dans les zones les plus denses selon le plan de gestion du cerf de Virginie au Québec 2010-2017 (Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats [DGEFH], 2012). Les impacts de la surpopulation des cerfs de Virginie dans l'écosystème sont multiples. D'abord, le cerf a une préférence pour les plantes herbacées, les arbustes et les jeunes plantes. Si le cerf se trouve en densité élevée, il produira une diminution des espèces cibles dans la région. Cette modification génère une réduction de la biodiversité de plantes et d'autres espèces dont l'habitat est le même que celui des plantes

visées par le cerf. D'ailleurs, il y a une augmentation des plantes qui ne sont pas mangées par le chevreuil, ce qui tend à favoriser l'extension des plantes invasives comme *Berberis thunbergii*, ce qui favorise la persistance de *I. scapularis* et réduit la flore native de la région. En outre, le cerf est capable de transporter les graines de plantes aux autres régions de la forêt, ce qui augmente les modifications de l'écosystème (United States Department of Agriculture [USDA] et Natural Resources Conservation Service [NRCS], s. d.). Si le contrôle de la population des cerfs est implanté, il est recommandé de suivre un plan détaillé d'inspection de la population de cerfs pour éviter une diminution non attendue du cerf.

L'installation de clôtures à cerfs a principalement deux grandes conséquences. La première, c'est l'obstruction des mouvements migratoires spontanés d'*O. virginianus* et d'autres espèces. Ceci peut causer des modifications de la population de plantes et des variations de la densité de certaines espèces, spécialement des mammifères, dans la région entourant la clôture et à l'extérieur (Clevenger, Chruszcz et Gunson, 2001). La deuxième, ce sont les lésions produites sur les cerfs et autres animaux qui essaient de passer par la clôture. Selon une étude au Mexique, un cerf sur 10 piégé dans une clôture en mourrait. Cette situation est plus fréquente avec une clôture à 45 °, puisqu'il est plus difficile de la voir par les animaux. Pour éviter les lésions et la mortalité secondaire à la clôture, il est recommandé de bien délimiter la structure avec des drapeaux ou avec des morceaux de tissu visibles pour les animaux (Goddard, Summers, Macdonald, Murray et Fawcett, 2001). Les matériaux de construction de clôtures les plus utilisés sont le plastique, le métal et le bois. Les clôtures de plastique offrent une bonne résistance et elles n'ont pas besoin d'entretien (Arizona Game and Fish Department Mission, s. d.). Cependant, elles ne peuvent pas être recyclées dans les centres de gestion de matières résiduelles et elles sont faites à partir d'une ressource non renouvelable, c'est-à-dire le pétrole (Olivier, 2015; Régie de Récupération de l'Estrie, 2017). Les fils électriques des clôtures en métal sont acceptés dans l'écocentre pour être recyclés ou revalorisés. Néanmoins, les métaux sont considérés en général comme des matériaux non renouvelables. Par contre, les clôtures en bois peuvent être revalorisées, réutilisées ou recyclées dans les écocentres et le bois peut être considéré comme une matière renouvelable (Olivier, 2015; Régie de Récupération de l'Estrie, 2017). Il existe également la possibilité d'avoir des clôtures composées de matériaux mixtes. Leur utilisation doit être évitée si possible, à cause de la difficulté que représente la gestion des matériaux et des structures restantes, une fois que les clôtures ne sont plus nécessaires, ou lors de leur remplacement en raison de dommages. En ce qui concerne l'utilisation d'énergie, la clôture électrique est la seule qui aurait besoin d'une consommation énergétique (Arizona Game and Fish Department Mission, s. d.). Dans ce cas, les

bénéfices de l'installation de la clôture électrique sur une région spécifique de l'Estrie devront être évalués pour que la dépense énergétique soit justifiée.

Dans l'écosystème, les écureuils et d'autres micromammifères sont attirés par l'appât du *4-Poster*. Le problème est que ces animaux peuvent y laisser des restes de blé d'Inde qui peuvent moisir et affecter la santé des chevreuils et des autres espèces qui se nourrissent de l'appât. Par conséquent, il est recommandé de placer le dispositif à 9 mètres de distance de la canopée. De plus, l'installation du *4-Poster* peut provoquer également une transmission de pathogènes entre espèces, et même entre cerfs, à cause des sécrétions qui se combinent à l'appât (Eisen et Dolan, 2016). Une des pathologies potentielles est la rage, maladie causée par un virus qui est porté principalement par les rats laveurs et les renards, deux espèces attirées par l'appât. Cette maladie peut être non seulement un risque pour d'autres espèces, mais aussi pour l'humain. Le CDC recommande donc l'instauration d'un protocole de surveillance des pathogènes transmissibles par le *4-Poster* si une région décide de mettre en œuvre cette stratégie (National Center for Environmental Health, s. d.). L'arachnicide utilisé dans le *4-Poster* est la perméthrine à 10 %. Cette substance agit en augmentant la perméabilité des membranes neuronales à l'ion de sodium qui finit par causer une paralysie de la tique. Comme mentionné antérieurement, la perméthrine est hautement toxique pour les invertébrés aquatiques et pour les poissons, moyennement toxique pour les algues, et non toxique pour les mammifères et les oiseaux. Les animaux qui ont été en contact avec le *4-Poster* sont généralement des mammifères et des oiseaux; pourtant l'utilisation de perméthrine dans ce cas n'implique pas un danger pour les espèces qui s'approchent du *4-Poster*. Advenant qu'un rouleau entre accidentellement en contact avec l'eau, la perméthrine pourrait affecter les espèces aquatiques jusqu'à ce qu'elle soit complètement biodégradée. Par conséquent, un tel contact entre l'eau et le rouleau doit être évité à tout moment. Si le rouleau entre en contact avec le sol, la perméthrine s'attache fortement aux molécules de la terre et elle se biodégrade (demi-vie de 5 à 42 jours). Il serait donc difficile qu'elle arrive à contaminer les eaux souterraines (Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2006). Une des grandes préoccupations exprimées par les habitants de Virginie (États-Unis) est la capacité qu'a le *4-Poster* d'augmenter la population de cerfs à cause de la disponibilité de la nourriture. Selon les études réalisées dans le même état, aucune relation directe entre l'augmentation de la population de cerfs et l'installation des appâts du *4-Poster* n'a pu être démontrée. Cependant, les études dans la même région ont montré que l'installation du *4-Poster* peut occasionner une augmentation des dommages du sol, des cultures et du paysage à proximité, à cause de la fréquentation accrue des cerfs. Par conséquent, il est important de bien choisir l'emplacement du *4-Poster* avant de l'installer en prenant en compte les zones

qui vont l'entourer. (Fairfax County Police Department Animal Services Division et Fairfax County Health Department, 2016)

5.5.2 Dimension sociale

La surpopulation de chevreuils a autant d'impacts positifs que négatifs dans la dimension sociale. Les impacts négatifs sont associés principalement aux accidents routiers. Entre 2002 et 2007, au Québec, il y a eu une augmentation de 31 % des collisions routières associées aux animaux et annuellement, au moins 8 000 accidents routiers sont associés aux cerfs. En 2007, les régions de l'Estrie, de la Montérégie, du Centre-du-Québec et de Chaudière-Appalaches ont présenté 57 % de tous les accidents au Québec associés à un animal en raison des hautes densités de chevreuils dans ces régions. Par contre, la haute densité des cerfs de Virginie attire les chasseurs locaux et d'autres régions. L'Estrie est une des régions préférées pour la chasse au chevreuil, avec une des densités les plus élevées de chasseurs. Selon le plan de gestion du cerf de Virginie, il y a de 5 à 8 chasseurs/km² dans cette région (DGEFH, 2012). Ce type d'activité est très importante dans un contexte social, puisqu'elle favorise l'intégration et la cohésion sociale ainsi que la culture de la chasse québécoise (DGEFH, 2012; Radio-Canada, 2017b).

Toujours dans la dimension sociale, les clôtures peuvent déranger la population d'une région à cause de l'altération du paysage entre autres. Selon l'historique observé des reportages, il semble avoir plus des personnes en faveur qu'en défaveur, avec comme principaux arguments invoqués l'emplacement des clôtures et leurs effets dans la zone. Pendant l'année 2017, à Matapédia, il y a eu une pétition pour l'installation de clôtures à chevreuils afin de réduire les accidents routiers (Carrier, 2017). Par ailleurs, en octobre 2017, une nouvelle clôture de 10 km a été installée proche de l'autoroute 175 (située de part et d'autre du fleuve Saint-Laurent) avec le but de protéger les automobilistes (Radio-Canada, 2017a). En avril 2017, il y a aussi eu une annonce de renforcement d'une clôture sur la route 69 (située entre Sudbury et le sud de l'Ontario) à cause des petits reptiles qui étaient capables de traverser les clôtures en plastique (Radio-Canada, 2017d). Pour le cas de l'Estrie, il serait nécessaire de réaliser des évaluations par rapport à l'acceptabilité des résidents de la région quant à cette mesure avant de l'implanter.

Par rapport au *4-Poster*, socialement, le plus grand risque est le contact entre la personne qui gère le dispositif et la perméthrine. On soupçonne des effets cancérogènes pour les humains qui seraient en contact avec cette substance de manière prolongée. La perméthrine peut également produire des réactions allergiques cutanées, l'irritation des yeux et des symptômes irritatifs des voies respiratoires. De

ce fait, les guides américains recommandent que la personne en charge de l'entretien du *4-Poster* soit licenciée dans l'utilisation de cette substance, qu'elle porte des vêtements protecteurs qui ne permettent pas l'exposition de la peau et qu'elle suive les mesures mentionnées dans l'annexe 3 afin d'éviter ces réactions. De plus, la personne en charge doit connaître le protocole à suivre en cas de contact. Celui-ci est présent dans l'annexe 4. Pour éviter le contact entre la perméthrine et un visiteur de la région, il est nécessaire de mettre en place des affiches qui informent par rapport au *4-Poster* et sa fonction. Comme mentionné dans la section antérieure, le *4-Poster* n'a pas été associé à une augmentation de la population de cerfs dans la région où il ont été placé et, jusqu'à aujourd'hui, il n'a pas été démontré qu'il augmente le risque de collisions ou d'accidents à leur emplacement. (DGEFH, 2012)

5.5.3 Dimension économique

La population des chevreuils est très importante dans la dimension économique à cause des revenus annuels générés par la chasse. Dans les régions de la Montérégie, de Chaudière-Appalaches, des Laurentides, de l'Outaouais et de l'Estrie, les chasseurs dépensent environ 78,2 millions de dollars annuellement dans la chasse du cerf de Virginie. Cependant, une population de cerfs abondante n'est pas toujours souhaitée par la population, spécialement quand elle peut affecter leur économie. Dans les régions de la Montérégie et de l'Estrie, les cultures de pommiers ainsi que celles du blé d'Inde sont constamment menacées par les populations de cerfs. Ceci se produit spécialement quand ils sont nombreux, puisque leur nourriture entre en pénurie facilement. (DGEFH, 2012)

En ce qui concerne l'installation des clôtures, selon l'étude par VerCautern et al., les clôtures à cerfs les plus coûteuses sont les clôtures électriques en raison des matériaux et de l'entretien nécessaires. D'autre part, les moins dispendieuses sont celles en bois. Cependant, le prix peut varier selon la durée de vie, l'extension de la clôture et la quantité de cerfs présents dans la région à protéger. Par conséquent, le groupe de VerCautern et al. a développé un modèle qui simule les conditions de la région et qui donne des recommandations par rapport aux types de clôtures plus avantageuses. (VerCauteren, Lavelle et Hygnstrom, 2006)

Le coûts du *4-Poster* varient selon la quantité nécessaire pour protéger la région. Le prix d'un dispositif est fixé à 519 \$ US, mais avec l'achat de 4 ou plus, le prix est réduit à 469 \$ US par unité. L'applicateur de la perméthrine coûte 130 \$ US par unité et la boîte de 12 rouleaux coûte 45 \$ US (A. Szulinski, courriel, 16 octobre 2017). Selon l'étude réalisée à Fairfax County (États-Unis) par le CDC entre 2012 et 2015, le coût

annuel de l'entretien et du fonctionnement (maïs, perméthrine, travail par une personne) de vingt 4-Posters est de 47 030 \$ US (National Center for Environmental Health, s. d.).

5.6 Réglementation associée aux mesures ciblant le cerf

Pour le contrôle de la population de cerfs, il serait nécessaire de prendre en compte la densité présente dans la région. Selon le plan de gestion du cerf de Virginie au Québec, la densité optimale de cet animal correspond à 5/km² en zone forestière. Si le chevreuil se trouve en quantité supérieure, il est possible de favoriser la chasse dans cette zone. Toutefois, lorsque les niveaux sont inférieurs à ceux attendus pour la zone de chasse, une discussion avec le MFFP serait nécessaire (DGEFH, 2012; P. Thibault, Courriel, 23 octobre 2017).

En ce qui concerne l'installation des clôtures, le Code civil du Québec stipule que le propriétaire d'un terrain peut clôturer son terrain à ses frais (*Code civil du Québec* C.C.Q 1991). Cependant, selon la loi sur l'aménagement et l'urbanisme, la municipalité a le droit de créer un règlement qui permet ou empêche l'installation de telles clôtures. Également, elle peut restreindre le choix des matériaux et la hauteur de la clôture. D'autre part, la municipalité peut obliger un propriétaire de clôturer son terrain (*Loi sur l'aménagement et l'urbanisme*).

Puisque le 4-Poster est un dispositif qui n'est pas actuellement disponible au Canada, il n'existe pas de réglementation spécifique qui conditionne ou limite son installation ou son utilisation. Néanmoins, comme le dispositif a comme objectif l'application de perméthrine, il est nécessaire d'examiner la réglementation associée à cette substance. Au niveau fédéral, la perméthrine est homologuée dans 405 produits différents et, au Québec, elle est classifiée comme un pesticide d'utilisation domestique (classe 5) (*Règlement sur les permis et les certificats pour la vente et l'utilisation de pesticides*; Santé Canada, 2010).

5.7. Interventions ciblant la souris

Dans cette section, les interventions ciblant la souris à pattes blanches seront présentées. Celles-ci sont le *Tick Tube* et la boîte d'appât (*SELECT Tick Control System*).

5.7.1 Tick Tube

Le *Damminix* aussi connu comme « *Tick Tube* » est un tube avec des boulettes de coton imprégnées de perméthrine (Figure 5.3). L'application sur la souris se déroule quand le mammifère passe à l'intérieur du

tube et qu'il entre en contact avec les boulettes de coton. De plus, il est fréquent que la souris prenne les boulettes de coton comme un matériel de nidation. De cette façon, la perméthrine est appliquée non seulement à une souris, mais à une famille complète (Figure 5.4). (EcoHealth, 2009b)



Figure 5.3 *Damminix* tube (tiré de : Stratham Hill Stone, s. d.)



Figure 5.4 Dispersion des boulettes de coton avec la perméthrine du *Damminix* par la souris (tiré de : EcoHealth, 2009b)

Différentes études réalisées principalement à New York montrent que l'activité de cet instrument est variable. Dans quelques cas le *Tick Tube* a permis de réduire jusqu'à 95 % la population de *I. scapularis*. Cependant, d'autres études suggèrent que son utilisation est associée à une augmentation de la population de tiques (Eisen et Dolan, 2016). Ceci résulte probablement par la présence d'autres hôtes dans le milieu, mais qui n'ont pas été pris en considération dans l'étude. Les *Tick Tubes* doivent être placés au début du printemps et à mi-été pour qu'ils fonctionnent pendant les deux pics d'activité de la tique (EcoHealth, 2009a). Le producteur recommande l'installation d'un *Tick Tube* à tous les 90 centimètres et tous les 9 mètres en zones résidentielles et boisées respectivement, afin que le terrain soit correctement protégé. Ce dispositif est actuellement disponible à l'achat aux États-Unis (EcoHealth, 2015).

5.7.2 Boîtes d'appât : *SELECT Tick Control System (TCS)*

Des essais ont été faits aussi avec des boîtes d'appât qui appliquent du fipronil (Figure 5.5). L'application se produit quand la souris est attirée par l'appât et entre ensuite dans la boîte. À l'intérieur, la souris entre en contact avec une mèche imprégnée de fipronil (CDC, 2015a). Le fipronil est un insecticide qui agit en modifiant l'activité du neurotransmetteur acide γ -aminobutyrique (GABA) des tiques (Pubchem, s. d.). Les tests avec des boîtes d'appât, en zones résidentielles, ont montré une réduction de 62 % à 90 % de *I. scapularis*. Dans les années suivantes, une augmentation des hôtes et de *B. burgdorferi* a été observée dans la zone, à la suite du retrait des boîtes. Cette augmentation n'a pas été directement associée à l'utilisation de la boîte, et elle est peut-être liée aux changements climatiques (Dolan et al., 2004).



Figure 5.5 Boîtes d'appât utilisées pour l'application du fipronil (tiré de : CDC, 2015a)

Aux États-Unis, la boîte est commercialisée sous le nom « *SELECT Tick Control System* ». Pour l'installation et le nombre d'unités requises, le producteur recommande de contacter le distributeur local afin d'évaluer la taille de la résidence ou de la région à protéger (Tick Box Technology Corporation, s. d.a). La figure 5.6 montre un exemple d'installation régulière du TCS dans une résidence à proximité de l'écotone.



Figure 5.6 Installation du TCS dans une résidence à proximité de l'écotone
(tiré de : Tick Box Technology Corporation, s. d.a)

5.8 Les interventions ciblant la souris dans une perspective de développement durable

Dans cette section, les mesures ciblant la souris seront examinées dans une perspective écologique, sociale et économique.

5.8.1 Dimension écologique

Avec l'utilisation du *Damminix*, il est possible d'attaquer la tique sans affecter la souris ou d'autres mammifères qui entrent en contact avec le *Tick Tube*, puisque l'arachnicide utilisé est la perméthrine.

Similairement au rouleau du *4-Poster*, il est important d'éviter en tout temps que le *Tick Tube* entre en contact avec l'eau afin d'empêcher des effets toxiques chez les espèces aquatiques. Leur utilisation dans une cour où des chiens ou des chats sont présents n'est pas problématique, puisque la dose utilisée n'est pas toxique pour ces espèces. Des doses encore plus hautes de perméthrine sont fréquemment utilisées dans les traitements anti-tiques offerts aux animaux domestiques (EcoHealth, 2009a). Les *Tick Tubes* sont faits à partir de carton et de boulettes de coton et conséquemment, ils sont biodégradables. Selon le producteur, ils peuvent être laissés dehors, où ils ont été placés, puisqu'ils vont être décomposés naturellement sur une période d'un an (EcoHealth, 2009a; EcoHealth, 2015).

Les boîtes du TCS sont composées d'une boîte en plastique, d'un applicateur de fipronil et d'un bloc d'appât composé de 25 % de cire de paraffine, 25 % d'avoine, 40 % de farine et 10 % de beurre d'arachide (CDC, 2015a). Le fipronil est un insecticide qui agit par l'inhibition des canaux de chlore des neurones et, à doses suffisantes, il génère la paralysie et la mort de la tique. Chez la souris, le fipronil est toxique en quantités supérieures à 26 mg/kg/jour et 0,059 mg/kg/jour si l'exposition est aiguë ou chronique respectivement (NPIC, 2009a). Malheureusement, le producteur du TCS ne spécifie pas la dose qui doit être appliquée à la souris et il n'y a pas d'études qui montrent les effets possibles de l'application du fipronil avec le TCS sur la souris à long terme. Puisque la boîte a été créée pour que la souris et les petits mammifères soient les seules capables d'être en contact avec l'insecticide, il serait difficile pour un animal domestique de l'ouvrir. Il ne représente donc pas de risque pour eux. D'autre part, la dose présente dans la boîte ne se trouve pas en quantités toxiques pour les chiens ou les chats (CDC, 2015a). La boîte doit toujours être manipulée par le distributeur ou l'applicateur local de pesticides, car ces derniers savent comment bien manipuler cette substance. Toutefois, s'il arrive que le fipronil entre en contact avec le sol, il peut être biodégradé. De plus, sa molécule se concentre dans les quinze premiers centimètres du sol. Par conséquent, il est peu probable que la substance contamine les eaux souterraines. La molécule du fipronil n'est pas volatile et, donc, elle ne se trouve pas dans l'air. Néanmoins, elle est hautement toxique pour les oiseaux, pour les abeilles et pour une grande variété d'animaux aquatiques. Pour que le fipronil soit toxique chez les oiseaux, il doit être consommé oralement; pour les abeilles, il doit être appliqué dans le feuillage, et pour les espèces aquatiques, il doit être déversé dans l'eau. Ces situations ne devraient pas arriver avec l'utilisation adéquate du TCS (NPIC, 2009a). La boîte ne nécessite pas de source d'énergie électrique, il est seulement nécessaire que la souris entre en contact avec le mécanisme d'application. Après l'utilisation de la boîte, elle ne peut pas être réemployée. Selon les indications présentes dans l'étiquette du produit, la boîte doit être envoyée à un site d'enfouissement ou elle peut être incinérée.

Puisque ce dispositif est fait à partir de plastique et qu'il peut conserver des restes chimiques, son traitement en fin de vie peut être très toxique pour l'environnement (Tick Box Technology Corporation, s. d.b). En ce qui concerne la population de souris, le CDC mentionne que la probabilité que la boîte attire d'autres souris et que la densité augmente dans la région où elle est placée est basse, puisque les souris tendent à rester dans la même région pendant toute leur vie (CDC, 2015a).

5.8.2 Dimension sociale

Comme le *Tick Tube* est un dispositif qui contient de la perméthrine, dont les effets chez les humains ont été décrits dans la section du 4-Poster, l'applicateur doit éviter tout contact direct avec cette substance. À la différence de la boîte du TCS, les tubes peuvent être achetés et placés par la population en général, mais cette dernière ne connaît probablement pas toutes les précautions à suivre. De ce fait, il est essentiel de recommander à l'acheteur de bien s'informer et de suivre toutes les indications de sécurité mentionnées concernant le produit (Annexe 5) (EcoHealth, 2015). Même si sur l'étiquette le port de gants pendant l'ouverture et l'installation des *Tick Tubes* n'est pas mentionné, il est important de le conseiller. De plus, les *Tick Tubes* peuvent être touchés par les enfants et des adultes qui ne les connaissent pas, surtout quand ils sont placés en zones résidentielles. En conséquence, leur utilisation ne doit pas être recommandée près des garderies ni des maisons où des enfants peuvent avoir accès. Lorsque placés dans des lieux publics, une bonne indication de leur localisation et des mesures de prévention doivent être mises en place, pour éviter le contact entre la population et ces dispositifs.

Chez les humains, le fipronil peut causer une irritation de la peau, des brûlures et une irritation des yeux. Il n'a pas été démontré qu'une exposition chronique cause des maladies ou des symptômes. Cependant, le fipronil a été classifié par l'EPA comme une substance « qui est possiblement cancérigène » à cause des réactions observées en laboratoire chez les animaux (CDC, 2015a; NPIC, 2009a). À la différence du *Tick Tube*, la boîte du TCS est manipulée et placée par une personne qui a été informée par rapport aux mesures de protection à prendre en manipulant la boîte (Tick Box Technology Corporation, s. d.a). Il est alors plus difficile qu'une personne la manipule sans protection et qu'elle soit affectée par le fipronil. De plus, puisque la boîte a été conçue pour être résistante aux contacts par des enfants, elle peut être utilisée dans des régions qui sont fréquentées par des enfants, sans représenter un risque pour eux (CDC, 2015a). L'annexe 6 présente l'étiquette du produit avec toutes les spécifications et mesures de prévention à suivre lors de son utilisation.

5.8.3 Dimension économique

Selon le producteur du *Tick Tube*, six tubes sont nécessaires pour chaque 506 m² d'habitat de la souris et le prix d'une boîte de six est de 24 \$ US, donc chaque tube coûte 4 \$ US. Des boîtes de 24 et 96 *Tick Tubes* sont également offertes et pour lesquelles le prix par tube descend à 3 \$ US et 2,7 \$ US respectivement (Tableau 5.2). Il est important de se souvenir qu'il est nécessaire de procéder à deux installations de ces unités pendant l'année. Par conséquent, le nombre d'unités et le prix doublent pour avoir les provisions nécessaires. (EcoHealth, 2009a)

Tableau 5.2 Coûts et couverture du *Tick Tube* (modifié de : EcoHealth, 2009a)

<i>Tick Tubes</i> par boîte	Couverture	Prix par boîte
6 tubes	506 m ²	24 \$ US
24 tubes	2023 m ²	75 \$ US
96 tubes	8094 m ²	260 \$ US

Pour la boîte du TCS, une étude des coûts a été faite par le CDC. Selon ce qui a été communiqué dans une conférence de presse, le prix approximatif de l'installation d'une boîte est de 50 \$ US. Basé sur la taille d'une maison américaine, 15 boîtes seraient nécessaires pour atteindre une protection adéquate pour une seule maison. De plus, comme deux réserves de produits sont nécessaires « le coût annuel serait de 800 \$ US » par maison. (Interlandi, 2017)

5.9 Réglementation associée aux mesures ciblant la souris

Comme le *4-Poster*, le *Tick Tube* n'est pas disponible actuellement au Canada et en conséquence, il n'y a pas de réglementation concernant spécifiquement ce produit. Toutefois, advenant que son importation soit visée par la province, il faudra suivre le processus fédéral d'homologation du produit, car la perméthrine est homologuée, mais pas dans la présentation du *Tick Tube*. Dans l'annexe 7, la fiche technique sur les exigences en matière d'importation commerciale de produits antiparasitaires est présentée. En ce qui concerne la boîte du TCS, elle n'est pas non plus disponible au Canada. De plus, le fipronil, le pesticide utilisé dans la boîte, n'est pas une substance homologuée à cause de ses effets sur l'environnement et sur la santé humaine. Pour pouvoir l'utiliser au Québec, il faudrait donc suivre le processus d'homologation (Santé Canada, 2010). Cependant, étant donné les antécédents de toxicité et de contamination des aliments associés à cette substance, l'homologation de ce produit pourrait s'avérer plus difficile (Agence QMI, 2017).

5.10 Modifications du paysage

Les modifications du paysage peuvent affecter directement *I. scapularis* et les autres espèces associées à la maladie de Lyme comme le cerf de Virginie ou la souris à pattes blanches. Pour cela, les modifications du paysage font partie du *Integrated Tick Management* ou de la « gestion intégrée de la tique » qui englobent une variété de mesures qui ont comme objectif la diminution ou l'élimination de la tique. Puisque 67 % des tiques se trouvent à l'intérieur des régions boisées et 22 % dans l'écotone, la plupart des mesures ont été créées pour être appliquées dans les zones résidentielles qui sont à proximité de ces régions. Néanmoins, elles peuvent être appliquées partout où elles s'avèrent nécessaires. Le guide de gestion des maladies transmissibles par les tiques de l'État de Connecticut ainsi que le CDC recommande que les hautes herbes et les arbustes soient coupés. De plus, ils recommandent que les zones qui sont habituellement fréquentées soient exposées à la lumière solaire, puisque, cela rend difficile la permanence des micromammifères hôtes de la tique ainsi que la tique elle-même. Les parcs et les zones publiques devraient être libres de bois, de végétation dense et de murs en pierre. Si possible, la construction de sentiers ou de chemins avec des matériaux de type *hardscape* ou *xeriscape*, ou à partir de paillis, est également recommandée. Ce type de construction permet de créer une division dans l'écosystème de la tique. De même, il empêche les mouvements de la tique et la croissance des herbes. La liste complète de recommandations est présentée dans le tableau 9.1. Il est important de savoir que ces mesures ne sont pas efficaces seules, elles doivent être toujours appliquées en association avec d'autres types de mesures comme l'utilisation de pesticides ou les interventions ciblant les hôtes de la tique. (CDC, 2016c; The Connecticut Agricultural Experiment Station, 2007)

Tableau 5.3 Modifications du paysage (modifié de : CDC, 2016c; The Connecticut Agricultural Experiment Station, 2007)

Actions à suivre
Enlever la litière de feuilles
Couper les hautes herbes et les arbustes
Interdire l'utilisation des plantes <i>Pachysandra</i> et <i>Berberis thunbergii</i>
Enlever la végétation proche des murs en pierre et en bois
Réduire l'activité des rongeurs par la fermeture des trous des murs et d'autres entrées pour la souris
Enlever les mangeoires à oiseaux et les piles de bois qui sont proches des résidences
Réduire l'utilisation des arbres ou plantes qui peuvent attirer les cerfs et placer des clôtures à cerfs où nécessaire
Placer les parcs pour des enfants ainsi que les bacs à sable loin de l'écotone et entourés de paillis

Tableau 5.3 Modifications du paysage (suite) (modifié de : CDC, 2016c; The Connecticut Agricultural Experiment Station, 2007)

Actions à suivre
Couper les branches des arbres pour laisser entrer les rayons de soleil
Utiliser des matériaux comme le <i>hardscape</i> et le <i>xeriscape</i> , ou du paillis, pour la construction des bordures (92 cm) à côté de l'écotone
Éviter le placement de déchets ou de fournitures non utilisées qui peuvent attirer la tique ou ses hôtes
Placer les fournitures utilisées le plus loin possible de l'écotone (274 cm séparées de la bordure de l'écotone)

Dans la figure 5.7, un exemple de l'application des interventions du paysage est illustré dans une résidence située à proximité de l'écotone, et dans la figure 5.8 des photos de modifications du paysage pour une zone publique récréative sont présentées.

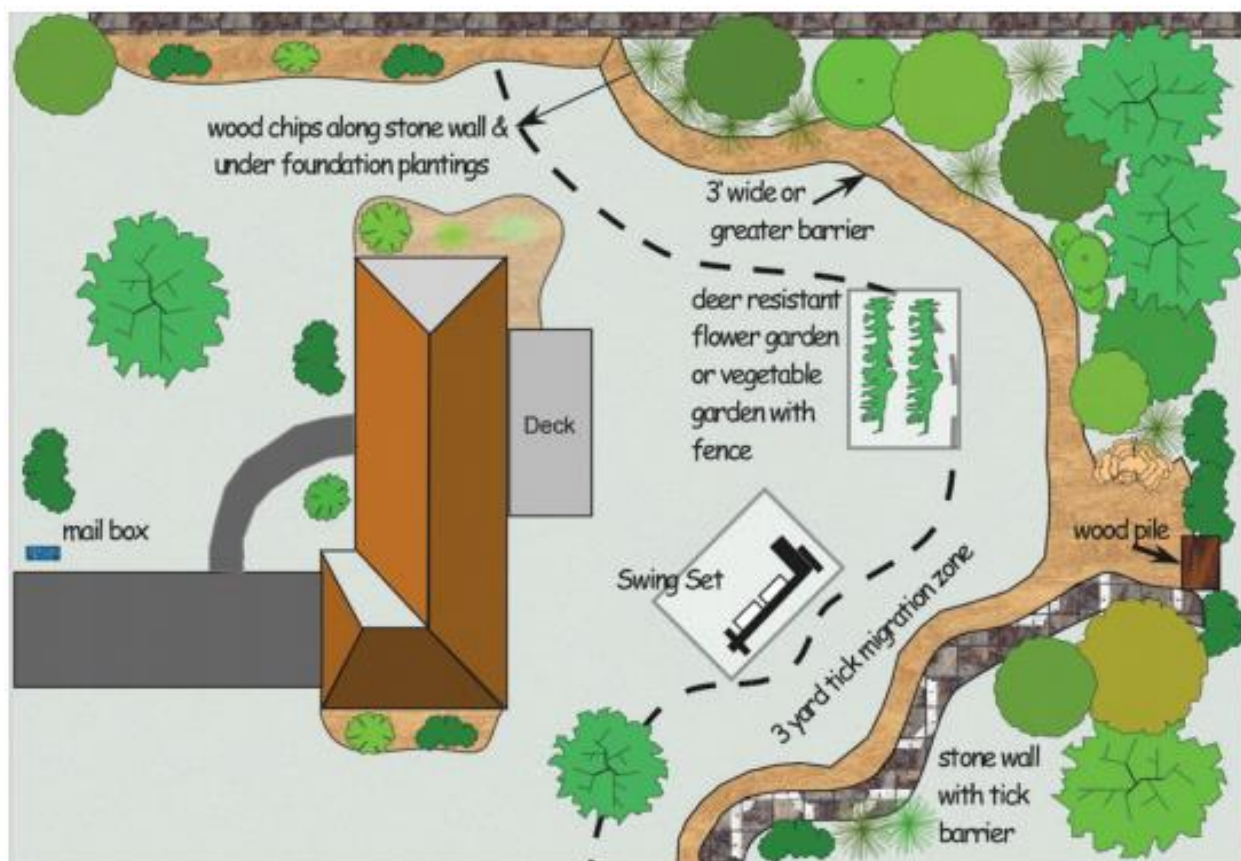


Figure 5.7 Interventions pour réduire le risque de la maladie de Lyme dans une maison proche de l'écotone (tiré de : The Connecticut Agricultural Experiment Station, 2007)



Figure 5.8 Avant et après les modifications du paysage dans une zone de récréation (tiré de : The Connecticut Agricultural Experiment Station, 2007) Les images à gauche montrent la zone avant les modifications du paysage recommandées pour réduire le risque de la maladie de Lyme et à droite le résultat après l'instauration des mesures.

La vente de *Berberis thunbergii* a été interdite dans l'État du Massachusetts en raison d'une étude qui montre que l'élimination de *B. thunbergii* est associée à une réduction importante de la population des tiques (Eisen et Dolan, 2016; The Connecticut Agricultural Experiment Station, 2007). *B. thunbergii*, aussi connue comme l'Épine-vinette de Thunberg est un arbuste originaire du Japon présent aux États-Unis et au Canada, qui est classifiée comme « une plante d'origine invasive » (USDA, s. d.). *B. thunbergii* crée une ambiance humide et obscure qui est parfaite pour la survie de la tique. De plus, elle est une source d'aliment pour *O. virginianus*. (Eisen et Dolan, 2016; The Connecticut Agricultural Experiment Station, 2007; USDA, s. d.) Pour cette raison, l'élimination de cette plante a été ajoutée au tableau 5.3.

5.11 Les modifications du paysage dans une perspective de développement durable

Dans cette section, les interventions visant à modifier le paysage seront examinées dans une perspective écologique, sociale et économique.

5.11.1 Dimension écologique

Le terme « écosystème » est souvent compris comme, étant une région verte qui n'a pas encore été « fortement » touchée par l'homme. Cependant, même les régions urbaines font partie des écosystèmes où certaines espèces peuvent habiter. L'objectif des interventions visant à changer le paysage est de modifier l'écosystème pour qu'il soit incompatible pour les hôtes de *I. scapularis*. Cependant, comme effet secondaire, ces changements impliquent une diminution de la diversité des espèces (p. ex. les insectes qui habitent dans les plantes qui sont retirées), une diminution de la population des espèces qui attirent la tique (p. ex. la souris à pattes blanches) ainsi que des espèces qui ne les attirent pas (p. ex. la coccinelle) et une diminution des sources d'alimentation (p. ex. *B. thunbergii*). Ces effets varient selon la taille de la région perturbée et selon les écosystèmes présents à proximité (Western, 2001). En conséquence, ce qui est recommandé est d'empêcher la construction des maisons près des écosystèmes qui peuvent être fortement affectés par ces modifications, comme la forêt. D'autre part, divers matériaux sont recommandés pour les constructions et les structures placées à proximité de l'écotone, notamment le *hardscape* et le *xeriscape*. Parmi les autres matériaux conseillés se trouvent différents types de plastique. Si ce type de matériau est choisi, il est recommandé d'en utiliser un qui soit 100 % recyclable comme le polyéthylène haute densité (PEHD). Néanmoins, il y a des options plus écosympathiques comme l'utilisation de bois ou de roches (p. ex. pierre calcaire) qui offrent une bonne résistance et dont le cycle de vie est moins toxique pour l'environnement. Une autre option viable est la réutilisation de briques ou d'autres matériaux afin de leur donner une deuxième vie. La construction de bordures et de sentiers peut affecter le passage d'eau et la qualité du sol (Hall, 2015; The Taunton Press, 2015). Toutefois, l'utilisation de constructions qui laissent des espaces comme ceux observés dans la figure 5.9 ne sont pas recommandées, puisque ces espaces servent de refuge pour la tique. D'ailleurs l'utilisation des matériaux locaux est toujours recommandée (Hall, 2015).



Figure 5.9 Construction non recommandable pour les bordures ou les sentiers (tiré de : Hall, 2015)

5.11.2 Dimension sociale

L'implantation de ces types d'interventions peut être très attrayante pour la communauté, si les modifications s'avèrent une option efficace pour contrôler le risque d'acquisition de la maladie. Lorsque de telles modifications sont envisagées dans une municipalité, une planification est nécessaire, et généralement ce type d'activité peut promouvoir la cohésion des membres de la communauté. Toutefois, si on choisit de retirer les zones d'ombrage des espaces récréatifs, il faut prendre en considération les mesures de protection contre le soleil et la chaleur, en particulier pour les enfants fréquentant ces espaces. L'utilisation des vêtements protecteurs, de crèmes solaires, l'hydratation fréquente et la prise de pauses à l'ombre doivent être encouragées. Autrement, cette mesure n'affecte pas d'autres aspects de la dimension sociale.

5.11.3 Dimension économique

Les coûts associés aux modifications dépendent de la condition initiale du terrain. Si la mesure est implantée en zones résidentielles, les coûts seront couverts principalement par le propriétaire du territoire. Toutefois, dans des endroits publics, ils seraient couverts par la municipalité. Le prix des modifications peut varier selon les matériaux utilisés, les structures en plastique ayant tendance à être moins chères en comparaison de celles en bois ou en roche. Cette dernière est particulièrement coûteuse et son prix varie en fonction de l'origine. L'installation de l'entretien du paysage peut favoriser l'accès au travail et au développement économique pour les entreprises en charge. (Hall, 2015; The Taunton Press, 2015)

5.12 Réglementation associée aux modifications du paysage

La municipalité est en charge de l'urbanisation et de la sélection des secteurs résidentiels, commerciaux et institutionnels. Par conséquent, celle-ci peut empêcher l'emplacement des constructions à proximité des zones à grand risque d'exposition à la tique. De plus, c'est la municipalité qui est responsable de l'aménagement des espaces publics. D'autre part, l'interdiction de la plantation d'arbres et de plantes est sous la responsabilité de la Municipalité Régionale de Comté (MRC), et comme *B. thunbergii* est une espèce invasive qui menace la présence des plantes régionales et qu'elle ne fait pas partie de la liste des plantes vasculaires menacées, l'interdiction de cette plante est possible. (*Loi sur l'aménagement et l'urbanisme* ; MDDELCC, 2012 ; P. Thibault, Courriel, 23 octobre 2017)

6. INTERVENTIONS POUR L'AVENIR

Dans cette section, les mesures en développement qui pourraient être considérées à l'avenir seront présentées.

6.1 Huiles essentielles

Des investigations récentes ont démontré la capacité insecticide de certaines huiles essentielles pour combattre *I. scapularis*. Le carvacrol est une huile essentielle trouvée chez *Cupressus nootkatensis* (cyprès de Nootka). Selon une étude réalisée à Monmouth County (États-Unis), cette substance est capable de produire une diminution de 78 % de la population de *I. scapularis* dans une période de six semaines avec une double application à basse pression (Jordan, Dolan, Piesman et Schulze, 2011). Des résultats similaires ont été obtenus avec une application unique à une dose plus élevée (Dolan et al., 2009). D'autre part, la combinaison d'huiles de romarin, de menthe poivrée et de thé de bois a montré une forte activité insecticide. Selon une étude réalisée dans l'État du Maine (États-Unis), la combinaison de ces trois substances en région forestière a montré une réduction de *I. scapularis* de 100 % quatre semaines après l'application (méthode : spray à haute pression) (Elias et al., 2013). Les études avec des applications à basse pression n'ont pas démontré une aussi bonne efficacité (Jordan, Dolan, Piesman et Schulze, 2011). Les huiles essentielles ont montré des résultats prometteurs. Actuellement, ces huiles ne sont pas disponibles dans le marché de pesticides à grande échelle, et leur utilisation massive dans le futur pourrait générer des conflits associés à la demande des plantes nécessaires pour obtenir les huiles. Puisque les huiles sont des substances qui se trouvent dans la nature normalement, des problèmes associés à la biodégradation et à la toxicité environnementale sont moins probables qu'avec d'autres substances synthétisées par l'homme. (Dolan et al., 2009)

6.2 Vaccin pour la souris

Puisque *P. leucopus* est le réservoir principal de *B. burgdorferi*, des vaccins ont été créés pour la souris, afin d'attaquer la source d'infection principale de la tique. Pour combattre la maladie, *P. leucopus* peut devenir immun au spirochète ou à la tique. Selon les études, la réponse de la souris aux antigènes du spirochète a été plus positive. En conséquence, la plupart des investigations se sont concentrées sur ces types d'antigènes; parmi ceux-ci, le plus étudié est la protéine A de surface (OspA) (Embers et Narasimhan, 2013). L'injection de 20 µg de OspA purifiée à *P. leucopus* a montré une efficacité concernant la production d'anticorps par la souris à pattes blanches contre *B. burgdorferi*. De plus, l'étude a révélé que les anticorps de *P. leucopus* peuvent être transmis à la tique et que ceux-ci peuvent réduire l'infection au point où la

tique n'est plus capable d'infecter l'humain. Toutefois, pour que cet effet soit produit, les titres d'anticorps doivent se maintenir, ce qui peut requérir plusieurs applications et évaluations du titrage. Ainsi, l'intervention pourrait s'avérer hautement coûteuse si la population de souris à traiter est grande. (De Silva et al, 1999)

Un autre groupe de chercheurs a choisi de développer un vaccin oral pour *P. leucopus*. Ce vaccin a permis une réduction de 76 % de l'infection chez les tiques nymphes sur une période de 5 ans. La vaccination orale a été administrée par l'utilisation des boîtes d'appât. Selon l'étude, la dose minimale pour que le système immunitaire de la souris produise le titrage adéquat pour affecter la tique est de 5 doses. Selon l'emplacement des boîtes, il est possible d'acquérir des niveaux de titrage optimaux chez plus de 50 % de la population de souris exposées. Présentement, aucun vaccin oral n'est disponible à l'achat, mais il représente une mesure potentiellement intéressante à l'avenir. (Richer et al., 2014)

6.3 Le *TickBot*

Le *TickBot* est un robot conçu pour attirer et capturer les tiques (Figure 6.1). Ce robot attire les tiques aux morceaux de tissu qu'il transporte avec lui, par l'émission de CO₂. Les tissus utilisés sont préalablement traités avec la perméthrine pour tuer la tique. Le *TickBot* a été créé par un groupe d'étudiants en génie de *Duke University* et il est encore en période d'essai. Jusqu'à aujourd'hui, seulement des preuves d'efficacité auprès de *Amblyomma americanum*, autre espèce que la tique, ont été recueillies. (Gaff et al., 2015)



Figure 6.1 *TickBot* (tiré de : Gaff et al., 2015)

6.4 Vaccin humain

En 1995, un vaccin humain a été développé et testé aux États-Unis. Ce vaccin comprend une modification de la protéine OspA appelée L-OspA comme antigène principal. Le vaccin a été testé dans 10 États endémiques, auprès de 10 936 personnes entre 15 et 70 ans. Parmi celles-ci, 5 469 ont reçu la formule avec L-OspA et 5 467 ont reçu la version placebo. Trois doses ont été appliquées, la deuxième ayant été appliquée un mois après la première dose, et la troisième 12 mois après la deuxième application. Dans la population qui a reçu le vaccin, 95 % ont développé 100 ng ou plus d'anticorps de type LA-2 après la deuxième dose et 99 % 12 mois après la troisième dose. Les symptômes associés à la vaccination les plus fréquents étaient la douleur au site d'injection, des arthralgies, des céphalées et des myalgies au cours des 30 premiers jours suivant la vaccination. Les arthralgies ont persisté pendant plus de 30 jours, contrairement aux autres symptômes, en dépit de l'administration d'antibiotiques (Steere et al., 1998). On comprend donc pourquoi le vaccin contre la maladie de Lyme n'est plus disponible. En effet, le fabricant a discontinué sa production en 2002, en raison d'une demande insuffisante (CDC, 2017a). Cependant, des groupes de recherche continuent à penser qu'un vaccin humain pourrait être une intervention importante pour contrôler la maladie de Lyme et pour cette raison, l'étude des antigènes et de leurs réponses dans le corps humain continue (Comstedt, Hanner, Schöler, Meinke et Lundberg, 2014).

CONCLUSION

L'objectif principal de ce travail était d'analyser de manière systémique les mesures qui n'ont pas été mises en place dans la région de l'Estrie, et qui ont été appliquées ailleurs en obtenant des résultats positifs pour le contrôle et la prévention de la maladie de Lyme. Pour répondre à cet objectif, l'essai a été développé en fonction de trois objectifs spécifiques. Le premier objectif spécifique visait à identifier les interventions à l'échelle individuelle et environnementale. Le deuxième visait à examiner les caractéristiques des interventions identifiées et le troisième, à analyser les aspects favorables et défavorables des interventions environnementales selon les trois piliers du développement durable; à savoir les piliers écologique, économique et social.

Les deux premiers chapitres ont permis de contextualiser le lecteur par rapport à la maladie de Lyme. Puis, le lien entre la transmission, l'expansion de la maladie et les changements de l'environnement a été exposé. En outre, le chapitre trois décrit l'organisation et le processus qui a été suivi pour arriver aux arguments présentés (méthodologie), et le chapitre quatre contient une brève analyse des mesures instaurées présentement au Québec. Le chapitre cinq montre le développement de chacun des objectifs spécifiques.

Des quatre catégories d'interventions analysées, celles les plus prometteuses sont les interventions qui ciblent la souris et les modifications de paysage, si l'on tient en compte les variables évaluées dans l'analyse (pilier économique, écologique et social). Ces deux catégories d'interventions offrent une efficacité, un prix et un effet écologique acceptables si celles-ci sont bien utilisées. Cependant, pour implanter une intervention dans une région, il est fondamental de prendre en compte les caractéristiques de la région comme l'acceptabilité sociale, le budget disponible, les différents animaux et la quantité présente, l'impact de la maladie de Lyme dans la région, le pourcentage des tiques infectées, et la méthode de transmission la plus fréquente dans la région. Avec cet essai et l'étude de la région, il sera possible de faire une sélection des mesures les plus appropriées pour une région comme l'Estrie. Il est important de comprendre qu'il est nécessaire de choisir un ensemble d'interventions qui soient complémentaires pour que leur efficacité et leur sécurité soient optimales. Il n'est donc pas recommandé d'appliquer une seule mesure.

Ce travail est présenté à la Direction de santé publique de l'Estrie, comme une première étape d'un projet qui vise l'instauration des mesures environnementales dans cette région. Ultimement, de telles mesures permettront, nous l'espérons, de réduire le nombre de cas et l'expansion de la maladie de Lyme sur le

territoire. Finalement, rappelons qu'un large éventail d'options est en train d'être développé pour l'avenir comme les huiles essentielles, le vaccin pour la souris, le *Tickbot* et le vaccin pour l'humain.

RÉFÉRENCES

- Adrion, E. R., Aucott, J., Lemke, K. W. et Weiner, J. P. (2015). Health Care Costs, Utilization and Patterns of Care following Lyme Disease. *PLOS ONE*, 10(2), e0116767. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116767>
- Agence de la santé publique du Canada (ASPC). (2008). *ARCHIVED - Canada Communicable Disease Report : The rising challenge of Lyme borreliosis in Canada*. Repéré à <https://www.canada.ca/en/public-health/services/reports-publications/canada-communicable-disease-report-ccdr/monthly-issue/2008-34/34-01/rising-challenge-lyme-borreliosis.html>
- Agence de la santé publique du Canada (ASPC). (2014). *Canada communicable disease report : Lyme disease*. Repéré à http://www.phac-aspc.gc.ca/publicat/ccdr-rmtc/14vol40/dr-rm40-05/assets/pdf/14vol40_05-eng.pdf
- Agence de la santé publique du Canada (ASPC). (2015). *Prevention of Lyme disease*. Repéré à <https://www.canada.ca/en/public-health/services/diseases/lyme-disease/prevention-lyme-disease.html>
- Agence de la santé publique du Canada (ASPC). (2016). *Insect repellents*. Repéré à <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/about-pesticides/insect-repellents.html>
- Agence QMI. (2017). Le Québec ne sera pas touché par la crise des oeufs contaminés. *TVA Nouvelles*. Repéré à <http://www.tvanouvelles.ca/2017/08/11/le-quebec-ne-sera-pas-touche-par-la--crise-des-oeufs-contamines>
- Aguilar, S. (2011). *Peromyscus leucopus* (white-footed mouse). *Animal Diversity Web*. Repéré à http://animaldiversity.org/accounts/Peromyscus_leucopus/
- Allan, S. A. et Patrican, L. A. (1995). Reduction of Immature Ixodes scapularis (Acari: Ixodidae) in Woodlots by Application of Desiccant and Insecticidal Soap Formulations. *Journal of Medical Entomology*, 32(1), 16-20. <https://doi.org/10.1093/jmedent/32.1.16>
- Arizona Game and Fish Department Mission. (s. d.). *Wildlife Compatible Fencing*. Repéré à http://www.azgfd.gov/hgis/documents/110125_AGFD_fencing_guidelines.pdf
- Benjamin, M. A., Hornbostel, V. L. et Ostfeld, R. S. (2005). Effectiveness of *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycetes) against *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) engorging on *Peromyscus leucopus*, 30(1). Repéré à <https://www.semanticscholar.org/paper/Effectiveness-of-Metarhizium-anisopliae-Deuteromyc-Hornbostel-Ostfeld/b8a617ca9f780611ad291d41fccf7b109cc8e815>
- Bharadwaj, A., Stafford, K. C. et Behle, R. W. (2012). Efficacy and Environmental Persistence of Nootkatone for the Control of the Blacklegged Tick (Acari: Ixodidae) in Residential Landscapes. *Journal of Medical Entomology*, 49(5), 1035-1044. <https://doi.org/10.1603/ME11251>

- Bohbot, J. D. et Dickens, J. C. (2010). Insect Repellents: Modulators of Mosquito Odorant Receptor Activity. *PLoS ONE*, 5(8), e12138. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012138>
- Brei, B., Brownstein, J. S., George, J. E., Pound, J. M., Miller, J. A., Daniels, T. J., ... Fish, D. (2009). Evaluation of the United States Department of Agriculture Northeast Area-Wide Tick Control Project by Meta-Analysis. *Vector Borne and Zoonotic Diseases*, 9(4), 423-430. <https://doi.org/10.1089/vbz.2008.0150>
- Büchel, K., Bendin, J., Gharbi, A., Rahlenbeck, S. et Dautel, H. (2015). Repellent efficacy of DEET, Icaridin, and EBAAP against *Ixodes ricinus* and *Ixodes scapularis* nymphs (Acari, Ixodidae). *Ticks and Tick-borne Diseases*, 6(4), 494-498. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2015.03.019>
- Burgdorfer, W. (1984). Discovery of the Lyme disease spirochete and its relation to tick vectors. *The Yale Journal of Biology and Medicine*, 57(4), 515-520.
- Carrier, G. G. (2017). Lancement d'une pétition pour l'installation d'une clôture anti-cervidés à Matapédia. *Radio-Canada.ca*. Repéré à <http://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1021139/lancement-petition-cloture-anti-cervides-chevreuil-cerf-virginie-matapedia-collision>
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2015a). *Bait Box Study (CT) : TickNET*. Repéré à https://www.cdc.gov/ticknet/ltdps/ltdps_bait.html
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2015b). Lyme disease transmission. Repéré à <https://www.cdc.gov/lyme/transmission/index.html>
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2016a). *Lyme disease data tables : Lyme Disease*. Repéré à <https://www.cdc.gov/lyme/stats/tables.html>
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2016b). Lyme disease graphs : Lyme Disease. Repéré à <https://www.cdc.gov/lyme/stats/graphs.html>
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2016c). *Preventing Ticks in the Yard : Lyme Disease*. Repéré à https://www.cdc.gov/lyme/prev/in_the_yard.html
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2017a). *Lyme disease vaccine*. Repéré à <https://www.cdc.gov/lyme/prev/vaccine.html>
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2017b). *Post-Treatment Lyme Disease Syndrome | Lyme Disease | CDC*. Repéré à <https://www.cdc.gov/lyme/postlds/index.html>
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2017c). *Preventing Tick Bites on People : Lyme Disease*. Repéré à https://www.cdc.gov/lyme/prev/on_people.html
- Centre for Health Protection (CHP). (s. d.). *Scientific Committee on Vector-borne Diseases Prevention of Lyme Disease in Hong Kong*. Repéré à http://www.chp.gov.hk/files/pdf/prevention_of_lyme_disease_in_hong_kong_r.pdf

- Centre intégré de santé et de services sociaux de Laval (CSSSLaval). (2018). *Réseau local de services*. Repéré à <http://www.cssslaval.qc.ca/le-csss-de-laval/reseau-local-de-services.html>
- Centre intégré de santé et de services sociaux de l'Outaouais. (2015). *Le réseau local de services (RLS)*. Repéré à http://santeoutaouais.qc.ca/fileadmin/documents/Trajectoire_de_services_DP/1._2015-01_Reseau_local_de_services.pdf
- Clevenger, A. P., Chruszcz, B. et Gunson, K. E. (2001). Highway Mitigation Fencing Reduces Wildlife-Vehicle Collisions, *29*(2), 646-653.
- Conseil canadien des ministres de l'environnement. (1999). *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection des utilisations de l'eau à des fins agricoles: chlorpyrifos*. Repéré à <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/fr/24>
- Conseil canadien des ministres de l'environnement. (2006). *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique : PERMÉTHRINE*. Repéré à <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/fr/114>
- Conseil canadien des ministres de l'environnement. (2009). *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life : Carbaryl*. Repéré à <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/150?redir=1513311858>
- Comstedt, P., Hanner, M., Schüler, W., Meinke, A. et Lundberg, U. (2014). Design and Development of a Novel Vaccine for Protection against Lyme Borreliosis. *PLoS ONE*, *9*(11), e113294. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113294>
- Curran, K. L., Fish, D. et Piesman, J. (1993). Reduction of Nymphal Ixodes dammini (Acari: Ixodidae) in a Residential Suburban Landscape by Area Application of Insecticides. *Journal of Medical Entomology*, *30*(1), 107-113. <https://doi.org/10.1093/jmedent/30.1.107>
- DeGennaro, M. (2015). The mysterious multi-modal repellency of DEET. *Fly*, *9*(1), 45-51. <https://doi.org/10.1080/19336934.2015.1079360>
- De Silva, A. M., Zeidner, N. S., Zhang, Y., Dolan, M. C., Piesman, J. et Fikrig, E. (1999). Influence of Outer Surface Protein A Antibody on Borrelia burgdorferi within Feeding Ticks. *Infection and Immunity*, *67*(1), 30-35.
- Dewey, T. (2003). Odocoileus virginianus (white-tailed deer). *Animal Diversity Web*. Repéré à http://animaldiversity.org/accounts/Odocoileus_virginianus/
- Direction de santé publique du CIUSSS de l'Estrie – CHUS. (2016a). *Faits saillants concernant la santé de la population de la Haute-Yamaska*. Repéré à https://www.santeestrie.qc.ca/clients/CIUSSSE-CHUS/medias-publications/publication/portraits-population/Faits_saillants_2016/DxLocaux_Haute-Yamaska_dec2016.pdf
- Direction de santé publique du CIUSSS de l'Estrie – CHUS. (2016b). *Faits saillants concernant la santé de la population de la Pommeraiie*. Repéré à <https://www.santeestrie.qc.ca/clients/CIUSSSE->

CHUS/medias-publications/publication/portraits-
population/Faits_saillants_2016/DxLocaux_Pommeraiie_dec2016.pdf

Direction de santé publique du CIUSSS de l'Estrie – CHUS. (2017a). *La maladie de Lyme : 12 fois plus présente en Estrie que dans le reste du Québec* (Vol. 38). Repéré à http://www.santeestrie.qc.ca/clients/CIUSSSE-CHUS/medias-publications/publication/bulletin/vision-sante-publique/2017/38_Vision_sante_publique_Maladiedelyme.pdf

Direction de santé publique du CIUSSS de l'Estrie – CHUS. (2017b). *Maladie de Lyme : fiche technique pour la prise en charge*. Repéré à http://www.santeestrie.qc.ca/clients/CIUSSSE-CHUS/professionnels/mado/lyme/Maladie_Lyme_Fiche_technique-juin2017.pdf

Direction de santé publique du CIUSSS de l'Estrie – CHUS. (2017c). *Maladie de Lyme : le nombre de personnes diagnostiquées et guéries par les équipes du CIUSSS de l'Estrie – chus explose*. Repéré à <https://www.santeestrie.qc.ca/uploads/media/Communique-Bilan-Lyme2017.pdf>

Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats (DGEFH). (2012). *Plan de gestion du cerf de Virginie au Québec 2010-2017*. Repéré à <https://mffp.gouv.qc.ca/faune/chasse/pdf/plan-gestion-cerf-2010-17.pdf>

Diuk-Wasser, M. A., Vannier, E. et Krause, P. J. (2016). Coinfection by Ixodes Tick-Borne Pathogens: Ecological, Epidemiological, and Clinical Consequences. *Trends in Parasitology*, 32(1), 30-42. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2015.09.008>

Dolan, M. C., Jordan, R. A., Schulze, T. L., Schulze, C. J., Manning, M. C., Ruffolo, D., ... Karchesy, J. J. (2009). Ability of Two Natural Products, Nootkatone and Carvacrol, to Suppress Ixodes scapularis and Amblyomma americanum (Acari: Ixodidae) in a Lyme Disease Endemic Area of New Jersey. *Journal of Economic Entomology*, 102(6), 2316-2324. <https://doi.org/10.1603/029.102.0638>

Dolan, M. C., Maupin, G. O., Schneider, B. S., Denatale, C., Hamon, N., Cole, C., ... Stafford, K. C. (2004). Control of Immature Ixodes scapularis (Acari: Ixodidae) on Rodent Reservoirs of Borrelia burgdorferi in a Residential Community of Southeastern Connecticut. *Journal of Medical Entomology*, 41(6), 1043-1054. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-41.6.1043>

EcoHealth. (2009a). Damminix Tick Tubes : Frequently Asked Questions. *Damminix Tick Tubes*. Repéré à <http://www.ticktubes.com/faq.html>

EcoHealth. (2009b). Damminix Tick Tubes : How It Works. *Damminix Tick Tubes*. Repéré à <http://www.ticktubes.com/works.html>

EcoHealth. (2015). DAMMINIX® A TICK TOXICANT A. *TickTubes.com*. Repéré à <http://www.ticktubes.com/downloads/ticktubeslabel.pdf>

Eisen, L. et Dolan, M. C. (2016). Evidence for Personal Protective Measures to Reduce Human Contact With Blacklegged Ticks and for Environmentally Based Control Methods to Suppress Host-Seeking

- Blacklegged Ticks and Reduce Infection with Lyme Disease Spirochetes in Tick Vectors and Rodent Reservoirs. *Journal of Medical Entomology*, 53(5), 1063-1092. <https://doi.org/10.1093/jme/tjw103>
- Elias, S. P., Lubelczyk, C. B., Rand, P. W., Staples, J. K., Amand, T. W. S., Stubbs, C. S., ... Smith, R. P. (2013). Effect of a Botanical Acaricide on *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) and Nontarget Arthropods. *Journal of Medical Entomology*, 50(1), 126136. <https://doi.org/10.1603/ME12124>
- Embers, M. E. et Narasimhan, S. (2013). Vaccination against Lyme disease: past, present, and future. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 3, 6. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2013.00006>
- European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). (2015). *Lyme borreliosis : Factsheet for health practitioners*. Repéré à https://ecdc.europa.eu/sites/portal/files/media/en/healthtopics/emerging_and_vector-borne_diseases/tick_borne_diseases/public_health_measures/Documents/HCP_factsheet_LB_highres.pdf
- Fédération canadienne de la faune. (s. d.). Le cerf de Virginie. *Fune et flore du pays*. Repéré à <http://www.hww.ca/fr/faune/mammiferes/le-cerf-de-virginie.html?referrer=https://www.google.ca/#sid4>
- Fairfax County Police Department Animal Services Division et Fairfax County Health Department. (2016). *A Study Report on the Use of 4-Poster Deer Treatment Stations to Control Tick Infestations on White-tailed Deer (Odocoileus virginianus) in Fairfax County, Virginia*. Repéré à <https://www.fairfaxcounty.gov/living/wildlife/pilotstudy/fairfax-county-4-poster-study-final-report.pdf>
- Fernandes, É. K. K., Bittencourt, V. R. E. P. et Roberts, D. W. (2012). Perspectives on the potential of entomopathogenic fungi in biological control of ticks. *Experimental Parasitology*, 130(3), 300-305. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2011.11.004>
- Gaff, H. D., White, A., Leas, K., Kelman, P., Squire, J. C., Livingston, D. L., ... Sonenshine, D. E. (2015). TickBot: A novel robotic device for controlling tick populations in the natural environment. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 6(2), 146-151. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2014.11.004>
- Garcia-Alvarez, L., Palomar, A. M. et Oteo, J. A. (2013). Prevention and Prophylaxis of Tick Bites and Tick-Borne Related Diseases, 9(3). Repéré à <http://thescipub.com/abstract/10.3844/ajidsp.2013.104.116>
- Ginsberg, H. S., Zhioua, E., Mitra, S., Fischer, J. L., Buckley, P. A., Verret, F., ... Buckley, F. G. (2004). Woodland type and spatial distribution of nymphal *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae). *Environmental Entomology*, 33(5), 1266-1273.
- Goddard, P., Summers, R., Macdonald, A., Murray, C. et Fawcett, A. (2001). Behavioural responses of red deer to fences of five different designs., 73(4), 289-298.
- Gordis, L. (2014). *Epidemiology* (5^e éd.). Baltimore, Maryland : El Sevier.

- Gouvernement du Québec. (2017a). *Maladie de Lyme*. Repéré à <http://sante.gouv.qc.ca/problemes-de-sante/maladie-de-lyme/>
- Gouvernement du Québec. (2017b). *Retrait d'une tique en cas de piqûre*. Repéré à <http://sante.gouv.qc.ca/conseils-et-prevention/retrait-de-la-tique-en-cas-de-piqure/>
- Government of Canada. (2016). *Insect bite prevention*. Repéré à <https://travel.gc.ca/travelling/health-safety/insect-bite>
- Hall, J. (2015). Hardscaping 101: Eco-Friendly Paving Solutions. *Gardenista*. Repéré à <https://www.gardenista.com/posts/eco-friendly-paving-solutions/>
- Hansen, M. (2007). Low-cost fence keeps deer out. *Good Fruit Grower*. Repéré à <http://www.goodfruit.com/low-cost-fence-keeps-deer-out/>
- Hu, L. (2017). Diagnosis of Lyme disease. Repéré à <http://www.uptodate.com/contents/diagnosis-of-lyme-disease>
- Institut national de santé publique du Québec (INSPQ). (2006). *Maladies zoonotiques et à transmission vectorielle: examen des initiatives actuelles d'adaptation aux changements climatiques au Québec*. Repéré à https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/519-changementsclimatiques_maladieszoonotiques.pdf
- Institut national de santé publique du Québec (INSPQ). (2016). *Plan d'analyse de la surveillance intégrée de la maladie de Lyme*. Repéré à <https://www.inspq.qc.ca/publications/2257>
- Institut national de santé publique du Québec (INSPQ). (2017). *Carte et liste des municipalités à risque d'acquisition de la maladie de Lyme, 2017*. Repéré à <https://www.inspq.qc.ca/zoonoses/maladie-de-lyme>
- Interlandi, J. (2017). Tick Traps Might Shield You from Pesticides and Tick-Borne Diseases. *Consumer Reports*. Repéré à <https://www.consumerreports.org/pest-control/tick-traps-might-shield-you-from-pesticides-tick-borne-diseases/>
- International Association for Medical Assistance to Travellers (IAMAT). (2016). IAMAT | Slovenia | Lyme Disease. Repéré à <https://www.iamat.org/country/slovenia/risk/lyme-disease>
- Jordan, R. A., Dolan, M. C., Piesman, J. et Schulze, T. L. (2011). Suppression of Host-Seeking *Ixodes scapularis* and *Amblyomma americanum* (Acari: Ixodidae) Nymphs After Dual Applications of Plant-Derived Acaricides in New Jersey. *Journal of Economic Entomology*, 104(2), 659-664. <https://doi.org/10.1603/EC10340>
- Jordan, R. A., Schulze, T. L. et Jahn, M. B. (2007). Effects of Reduced Deer Density on the Abundance of *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) and Lyme Disease Incidence in a Northern New Jersey Endemic Area. *Journal of Medical Entomology*, 44(5), 752-757. <https://doi.org/10.1093/jmedent/44.5.752>

- Jordan, R. A., Schulze, T. L. et Dolan, M. C. (2012). Efficacy of Plant-Derived and Synthetic Compounds on Clothing as Repellents Against *Ixodes scapularis* and *Amblyomma americanum* (Acari: Ixodidae). *Journal of Medical Entomology*, 49(1), 101-106. <https://doi.org/10.1603/ME10241>
- Kilpatrick, A. M., Dobson, A. D. M., Levi, T., Salkeld, D. J., Swei, A., Ginsberg, H. S., ... Diuk-Wasser, M. A. (2017). Lyme disease ecology in a changing world: consensus, uncertainty and critical gaps for improving control. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372(1722). <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0117>
- Kilpatrick, H. J., Labonte, A. M. et Stafford, K. C. (2014). The Relationship Between Deer Density, Tick Abundance, and Human Cases of Lyme Disease in a Residential Community. *Journal of Medical Entomology*, 51(4), 777-784. <https://doi.org/10.1603/ME13232>
- Kugeler, K. J., Jordan, R. A., Schulze, T. L., Griffith, K. S. et Mead, P. S. (2016). Will Culling White-Tailed Deer Prevent Lyme Disease? *Zoonoses and public health*, 63(5), 337-345. <https://doi.org/10.1111/zph.12245>
- Lambert, L., Drapeau, M., Milord, F., Serhir, B., Trudel, L. et Doucet, A. (2013). *Guide d'intervention : la maladie de Lyme* (La Direction des communications du ministère de la Santé et des Services sociaux). (S.l.) : (s.n.). Repéré à <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/bs2316178>
- Levi, T., Kilpatrick, A. M., Mangel, M. et Wilmers, C. C. (2012). Deer, predators, and the emergence of Lyme disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(27), 10942-10947. <https://doi.org/10.1073/pnas.1204536109>
- Lindgren, E. et Jaenson, T. G. T. (2006). *Lyme borreliosis in Europe: influences of climate and climate change, epidemiology, ecology and adaptation measures*. Repéré à http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/96819/E89522.pdf
- Loi sur l'aménagement et l'urbanisme*, L.A.U., c. A-19.1
- Meyerhoff, J. O. (2017). Lyme Disease Clinical Presentation. *Medscape*. Repéré à <https://emedicine.medscape.com/article/330178-clinical>
- Millien, V. (2013). Effets combinés de la fragmentation de l'habitat et des changements climatiques sur les espèces invasives : micromammifères hôtes et tique vectrice de la bactérie responsable de l'extension de la maladie de Lyme au Québec. (Rapport Final) Repéré à https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportMillien2014_FR.pdf
- Ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS). (2017a). Évolution de la maladie au Québec. Repéré à <http://www.msss.gouv.qc.ca/professionnels/zoonoses/maladie-lyme/evolution-de-la-maladie-au-quebec/>
- Ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS). (2017b). Tableau des cas humains – Bilan 2017 - Maladie de Lyme - Professionnels de la santé - MSSS. Repéré à <http://www.msss.gouv.qc.ca/professionnels/zoonoses/maladie-lyme/tableau-des-cas-humains-bilan/>

- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP). (2015). *Répartition du cerf de Virginie au Québec (Odocoileus virginianus)*. Repéré à <https://www.mffp.gouv.qc.ca/faune/chasse/gibiers/pdf/repartition-cerf-virginie.pdf>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2012). *Espèces menacées ou vulnérables au Québec*. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/listes/menacees-floristiques.pdf>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2015). *Bilan des ventes de pesticides au Québec 2015*. Repéré à <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/pesticides/bilan/2015/tableau-ia-groupes-chimiques.pdf>
- Morshed, M., D Scott, J., Fernando, K., Beati, L., F Mazerolle, D., Geddes, G. et A Durden, L. (2005). *Migratory songbirds disperse ticks across Canada, and first isolation of the Lyme disease spirochete, Borrelia burgdorferi, from the avian tick, Ixodes auritulus* (Vol. 91). (S.l.) : (s.n.). <https://doi.org/10.1645/GE-3437.1>
- Nadelman, R. B., Nowakowski, J., Fish, D., Falco, R. C., Freeman, K., McKenna, D., ... Wormser, G. P. (2001). Prophylaxis with Single-Dose Doxycycline for the Prevention of Lyme Disease after an Ixodes scapularis Tick Bite. *New England Journal of Medicine*, 345(2), 7984. <https://doi.org/10.1056/NEJM200107123450201>
- National Center for Biotechnology Information (NCBI). (2017a). *Compound Summary for CID 1268142 : Nootkatone*. Repéré à <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/nootkatone#section=Top>
- National Center for Biotechnology Information (NCBI). (2017b). *Compound Summary for CID 2730: chlorpyrifos*. Repéré à <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2730>
- National Center for Biotechnology Information (NCBI). (2017c). Welcome to NCBI. Repéré à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>
- National Center for Environmental Health. (s. d.). The Effectiveness and Implementation of 4-Poster Deer Self-Treatment Devices for Tick-borne Disease Prevention A Potential Component of an Integrated Tick Management Program. *Centers for Disease Control and Prevention (CDC)*. Repéré à <https://www.cdc.gov/climateandhealth/docs/4PosterTickBorneDisease.pdf>
- National Institute of Infectious Diseases (NIID). (2015). *NESID Annual Surveillance Data (Notifiable Diseases)2015-2*. Repéré à <https://www.niid.go.jp/niid/en/survei/2085-idwr/ydata/6558-report-ea2015-20.html>
- National Pesticide Information Center (NPIC). (2009a). Fipronil Technical Fact Sheet. *National Pesticide Information Center*. Repéré à <http://npic.orst.edu/factsheets/archive/fiptech.html#toxbbox>
- National Pesticide Information Center (NPIC). (2009b). *Picaridin Technical Fact Sheet*. Repéré à <http://npic.orst.edu/factsheets/archive/Picaridintech.html>

- Nelson, C. A., Hayes, C. M., Markowitz, M. A., Flynn, J. J., Graham, A. C., Delorey, M. J., ... Dolan, M. C. (2016). The heat is on: Killing blacklegged ticks in residential washers and dryers to prevent tickborne diseases. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 7(5), 958-963. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2016.04.016>
- Ogden, N. H., Lindsay, L. R. et Schofield, S. W. (2015). Methods to Prevent Tick Bites and Lyme Disease. *Clinics in Laboratory Medicine*, 35(4), 883-899. <https://doi.org/10.1016/j.cll.2015.07.003>
- Ogden, N. H., Maarouf, A., Barker, I. K., Bigras-Poulin, M., Lindsay, L. R., Morshed, M. G., ... Charron, D. F. (2006). Climate change and the potential for range expansion of the Lyme disease vector *Ixodes scapularis* in Canada. *International Journal for Parasitology*, 36(1), 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2005.08.016>
- Ogden, N. H., St-Onge, L., Barker, I. K., Brazeau, S., Bigras-Poulin, M., Charron, D. F., ... Thompson, R. A. (2008). Risk maps for range expansion of the Lyme disease vector, *Ixodes scapularis*, in Canada now and with climate change. *International Journal of Health Geographics*, 7, 24-24. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-7-24>
- Olivier, M. (2015). *Chimie de l'environnement*. Longueuil, Québec : Lab Éditions.
- Patrican, L. A. et Allan, S. A. (1995). Application of Desiccant and Insecticidal Soap Treatments To Control *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) Nymphs and Adults in a Hyperendemic Woodland Site. *Journal of Medical Entomology*, 32(6), 859-863. <https://doi.org/10.1093/jmedent/32.6.859>
- Pubchem. (s. d.). fipronil. Repéré à <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/3352>
- Radio-Canada. (2017a). 10 km de clôture pour protéger les automobilistes sur la route 175. *Radio-Canada.ca*. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1064158/10-km-de-cloture-pour-protoger-les-automobilistes-sur-la-route-175>
- Radio-Canada. (2017b). L'automne, saison de la chasse au Québec. *Radio-Canada.ca*. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1062986/chasse-chasseur-tradition-loisir-archives>
- Radio-Canada. (2017c). Le nombre de cas de maladie de Lyme a presque doublé en 2017. *Radio-Canada.ca*. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1067002/sante-maladie-lyme-cas-infections-bilan>
- Radio-Canada. (2017d). Une clôture qui fait plus de mal que de bien le long de la route 69. *Radio-Canada.ca*. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/714662/cloture-animaux-route69-sudbury>
- Rand, P. W., Lubelczyk, C., Lavigne, G. R., Elias, S., Holman, M. S., Lacombe, E. H. et Smith Jr., R. P. (2003). Deer Density and the Abundance of *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae). *Journal of Medical Entomology*, 40(2), 179-184. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-40.2.179>
- Régie de Récupération de l'Estrie. (2017). Plastique souple. *Récup Estrie*. Repéré à <http://www.recupeestrie.com/matieres/plastique-souple/>

Règlement sur les permis et les certificats pour la vente et l'utilisation des pesticides, P-9.3, r. 2

Richer, L. M., Brisson, D., Melo, R., Ostfeld, R. S., Zeidner, N. et Gomes-Solecki, M. (2014). Reservoir Targeted Vaccine Against *Borrelia burgdorferi*: A New Strategy to Prevent Lyme Disease Transmission. *The Journal of Infectious Diseases*, 209(12), 1972-1980.
<https://doi.org/10.1093/infdis/jiu005>

Santé, Agriculture et Environnement (SAgE) Pesticides. (2017a). Effets toxiques des matières actives : carbaryl. *SAgE Pesticides*. Repéré à <http://www.sagepesticides.qc.ca/RechercheMatiere/DisplayMatiere?MatiereActiveID=30&search=carbaryl>

Santé, Agriculture et Environnement (SAgE) Pesticides. (2017b). Effets toxiques des matières actives : chlorpyrifos. *SAgE Pesticides*. Repéré à <http://www.sagepesticides.qc.ca/RechercheMatiere/DisplayMatiere?MatiereActiveID=112>

Santé, Agriculture et Environnement (SAgE) Pesticides. (2017c). Effets toxiques des matières actives : deltaméthrine. *SAgE Pesticides*. Repéré à <http://www.sagepesticides.qc.ca/RechercheMatiere/DisplayMatiere?MatiereActiveID=119&search=deltam%C3%A9thrine>

Santé, Agriculture et Environnement (SAgE) Pesticides. (2017d). Effets toxiques des matières actives : Pyréthrinés. Repéré à <http://www.sagepesticides.qc.ca/RechercheMatiere/DisplayMatiere?MatiereActiveID=166&search=pyr%C3%A9thrines>

Santé Canada. (2009a). *ARCHIVÉE - Interdictions concernant l'utilisation de pesticides à des fins esthétiques et les rôles des trois paliers de gouvernement*. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-produits-consommation/rapports-publications/pesticides-lutte-antiparasitaire/fiches-renseignements-autres-ressources/interdictions-concernant-utilisation-pesticides-fins-esthetiques-roles-trois-paliers-gouvernement.html>

Santé Canada. (2009b). *Fiche technique sur les Exigences en matière d'importation commerciale de produits antiparasitaires*. (S.l.) : (s.n.). Repéré à https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/cps-spc/alt_formats/pdf/pubs/pest/_fact-fiche/importation-Commercial-import-fra.pdf

Santé Canada. (2009c). *Pesticides et aliments*. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-produits-consommation/rapports-publications/pesticides-lutte-antiparasitaire/fiches-renseignements-autres-ressources/pesticides-aliments.html#a3>

Santé Canada. (2010). *Information sur les produits de pesticides - Santé Canada*. Repéré à <http://prp.hc-sc.gc.ca/pi-ip/index-fra.php>

Santé Canada. (2015). *Projet de décision de réévaluation PRVD2015-07 : Deltaméthrine*. Repéré à http://publications.gc.ca/collections/collection_2016/sc-hc/H113-27-2015-7-fra.pdf

- Santé Canada. (2016). *Décision de réévaluation RVD2016-02 : Carbaryl*. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-produits-consommation/rapports-publications/pesticides-lutte-antiparasitaire/decisions-mises-jour/decision-reevaluation/2016/carbaryl-rvd2016-02.html#a5>
- Shapiro, E. D. (2014). Lyme Disease. *The New England journal of medicine*, 371(7), 684-684. <https://doi.org/10.1056/NEJMc1407264>
- Schulze, T. L., Jordan, R. A. et Hung, R. W. (2000). Effects of Granular Carbaryl Application on Sympatric Populations of *Ixodes scapularis* and *Amblyomma americanum* (Acari: Ixodidae) Nymphs. *Journal of Medical Entomology*, 37(1), 121-125. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-37.1.121>
- Schulze, T. L., Jordan, R. A. et Krivenko, A. J. (2005). Effects of Barrier Application of Granular Deltamethrin on Subadult *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) and Nontarget Forest Floor Arthropods. *Journal of Economic Entomology*, 98(3), 976-981. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-98.3.976>
- Schulze, T. L., Jordan, R. A., Schulze, C. J. et Healy, S. P. (2008). Suppression of *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) Following Annual Habitat-Targeted Acaricide Applications Against Fall Populations of Adults. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 24(4), 566-570. <https://doi.org/10.2987/08-5761.1>
- Scopus. (2017). About Scopus. *El Sevier*. Repéré à <https://www.elsevier.com/solutions/scopus>
- Shapiro, E. D. (2014). Lyme Disease. *The New England journal of medicine*, 371(7), 684-684. <https://doi.org/10.1056/NEJMc1407264>
- Shelter Island Reporter. (2012). 4-poster Archives - Page 4 of 5. *Shelter Island Reporter*. Repéré à <http://shelterislandreporter.timesreview.com/tag/4-poster/page/4/>
- Science Direct. (2017). What is Science Direct. *El Sevier*. Repéré à <https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect>
- Société de la faune et des parcs du Québec. (2002). *ATLAS DES MICROMAMMIFÈRES DU QUÉBEC*. Repéré à http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/faune/atlas_micromammiferes.pdf
- Stafford, I., K. C. (1991). Effectiveness of Carbaryl Applications for the Control of *Ixodes dammini* (Acari: Ixodidae) Nymphs in an Endemic Residential Area. *Journal of Medical Entomology*, 28(1), 32-36. <https://doi.org/10.1093/jmedent/28.1.32>
- Stafford, K. C., Denicola, A. J. et Kilpatrick, H. J. (2003). Reduced Abundance of *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) and the Tick Parasitoid *Ixodiphagus hookeri* (Hymenoptera: Encyrtidae) with Reduction of White-Tailed Deer. *Journal of Medical Entomology*, 40(5), 642-652. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-40.5.642>

- Steere, A. C., Malawista, S. E., Snyderman, D. R., Shope, R. E., Andiman, W. A., Ross, M. R. et Steele, F. M. (1977). An epidemic of oligoarticular arthritis in children and adults in three connecticut communities. *Arthritis & Rheumatism*, 20(1), 717. <https://doi.org/10.1002/art.1780200102>
- Steere, A. C., Sikand, V. K., Meurice, F., Parenti, D. L., Fikrig, E., Schoen, R. T., ... Krause, D. S. (1998). Vaccination against Lyme Disease with Recombinant *Borrelia burgdorferi* Outer-Surface Lipoprotein A with Adjuvant. *New England Journal of Medicine*, 339(4), 209-215. <https://doi.org/10.1056/NEJM199807233390401>
- Steere, A. C. (2015). Lyme Borreliosis. Dans D. Kasper, A. Fauci, S. Hauser, D. Longo, J. L. Jameson et J. Loscalzo (Éds), *Harrison's Principles of Internal Medicine*, 19e. New York, NY : McGraw-Hill Education. Repéré à accessmedicine.mhmedical.com/content.aspx?aid=1120800333
- Stratham Hill Stone. (s. d.). Damminix Tick Tubes. Repéré à <http://www.strathamhillstone.com/lawn-garden-nh/item/damminix-tick-tubes>
- Stjernberg, L. et Berglund, J. (2005). Detecting ticks on light versus dark clothing. *Scandinavian Journal of Infectious Diseases*, 37(5), 361-364. <https://doi.org/10.1080/00365540410021216>
- The Center for Food Security and Public Health (CFSPH). (2011). Lyme Disease. *Iowa State University*. Repéré à http://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/pdfs/lyme_disease.pdf
- The Connecticut Agricultural Experiment Station. (2007). Tick Management Handbook : An integrated guide for homeowners, pest control operators, and public health officials for the prevention of tick-associated disease. Repéré à <http://www.ct.gov/caes/lib/caes/documents/publications/bulletins/b1010.pdf>
- The Taunton Press. (2015). Hardscapes: Patios and Driveways. *Green Building Advisor*. Repéré à <http://www.greenbuildingadvisor.com/green-basics/hardscapes-patios-and-driveways-0>
- Thomas, D. J., Falco, R. C., Mchugh, E. E., Vellozzi, J., Boccia, T., Denicola, A. J., ... Fish, D. (2009). Acaricidal Treatment of White-Tailed Deer to Control *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) in a New York Lyme Disease-Endemic Community, (4). Repéré à <https://doi.org/10.1089/vbz.2008.0197>
- Tick Box Technology Corporation. (s. d.a). Introducing TCS SELECT Tick Control System. *Tick Box TCS*. Repéré à http://www.tickboxtcs.com/Select_TCS_Brochure.pdf
- Tick Box Technology Corporation. (s. d.b). SELECT TCS Tick Control System. *Tick Box TCS*. Repéré à <http://www.tickboxtcs.com/ProductLabel.pdf>
- Trudel, L. et Milord, F. (2010). Les tiques s'installent au Québec! Qu'en est-il de la maladie de Lyme? *Bulletin de la Société d'entomologie du Québec*, 17(2). Repéré à http://www.seq.qc.ca/antennae/archives/articles/Article_17-2_Trudel%20et%20Milord.pdf
- United States Department of Agriculture (USDA). (s. d.). *Berberis thunbergii* DC : Japanese barberry. Repéré à <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=beth>

- United States Department of Agriculture (USDA) et Natural Resources Conservation Service (NRCS). (s. d.). *New Jersey Fact Sheet: White-tailed Deer Impacts and Forest Management*. Repéré à https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs141p2_017804.pdf
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2000). *Carbaryl*. Repéré à <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/carbaryl.pdf>
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2002). *Chlorpyrifos Facts*. Repéré à https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/reregistration/fs_PC-059101_1-Feb-02.pdf
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2003). *Metarhizium anisopliae strain F52 (029056) Biopesticide Fact Sheet*. Repéré à https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/registration/fs_PC-029056_01-Jun-03.pdf
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2009). *Permethrin Facts*. Repéré à https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/reregistration/fs_PC-109701_1-Aug-09.pdf
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2017). *Repellent-Treated Clothing*. Repéré à <https://www.epa.gov/insect-repellents/repellent-treated-clothing>
- University of Illinois. (2017). Population Control. *Living with White-tailed Deer in Illinois*. Repéré à <http://web.extension.illinois.edu/deer/damage.cfm?SubCat=8890>
- VerCauteren, K. C., Lavelle, M. J. et Scott Hygnstrom. (2006). Fences and Deer-Damage Management: A Review of Designs and Efficacy. 99. Repéré à http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1093&context=icwdm_usdanwrc
- Villeneuve, A. (2012). Les tiques, mieux les connaître, mieux s'en protéger. *Université de Montréal*. Repéré à <http://www.medvet.umontreal.ca/servicediagnostic/parasitologie/PDF/Les%20tiques.%20Mieux%20les%20conna%C3%Aetre%20et%20mieux%20s'en%20prot%C3%A9ger.pdf>
- Villeneuve, C., Riffon, O. et Tremblay, D. (2014). 35 questions pour une réflexion plus large sur le développement durable. *Université du Québec à Chicoutimi*. Repéré à <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/bs2563316>
- WebMD. (2017). Lyme Disease Early Symptoms. *WebMD*. Repéré à <https://www.webmd.com/rheumatoid-arthritis/arthritis-lyme-disease>
- Weeks, J., Guiney, P. et Nikiforov, A. (2012). Assessment of the environmental fate and ecotoxicity of N,N-diethyl-m-toluamide (DEET). *Integrated Environmental Assessment and Management*, 8(1), 120-134. <https://doi.org/10.1002/ieam.1246>

- Western, D. (2001). Human-modified ecosystems and future evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(10), 5458-5465.
<https://doi.org/10.1073/pnas.101093598>
- Wilson, M. L., Adler, G. H. et Spielman, A. (1985). Correlation between Abundance of Deer and That of the Deer Tick, *Ixodes dammini* (Acari: Ixodidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 78(2), 172-176. <https://doi.org/10.1093/aesa/78.2.172>
- Wilson, M. L., Ducey, A. M., Litwin, T. S., Gavin, T. A. et Spielman, A. (1990). Microgeographic distribution of immature *Ixodes dammini* ticks correlated with that of deer. *Medical and Veterinary Entomology*, 4(2), 151-159. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.1990.tb00273.x>
- World Health Organisation (WHO). (s. d.). *Lyme borreliosis in europe*. Repéré à <https://ecdc.europa.eu/sites/portal/files/media/en/healthtopics/vectors/world-health-day-2014/Documents/factsheet-lyme-borreliosis.pdf>
- World Wide Fund for Nature Australia. (2006). Bird Species and Climate Change. *World Wide Fund for Nature Australia*. Repéré à <https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/wwfsummaryfinal.pdf>
- Wormser, G. P., Dattwyler, R. J., Shapiro, E. D., Halperin, J. J., Steere, A. C., Klempner, M. S., ... Nadelman, R. B. (2006). The Clinical Assessment, Treatment, and Prevention of Lyme Disease, Human Granulocytic Anaplasmosis, and Babesiosis: Clinical Practice Guidelines by the Infectious Diseases Society of America. *Clinical Infectious Diseases*, 43(9), 1089-1134. <https://doi.org/10.1086/508667>
- Wu, X.-B., Na, R.-H., Wei, S.-S., Zhu, J.-S. et Peng, H.-J. (2013). Distribution of tick-borne diseases in China. *Parasites & Vectors*, 6, 119-119. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-6-119>
- Zhang, X., Meltzer, M. I., Peña, C. A., Hopkins, A. B., Wroth, L. et Fix, A. D. (2006). Economic Impact of Lyme Disease. *Emerging Infectious Diseases*, 12(4), 653-660.
<https://doi.org/10.3201/eid1204.050602>

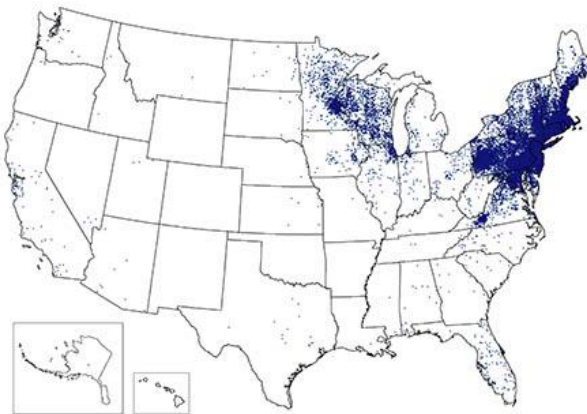
ANNEXE 1 - CARTES DES CAS RAPPORTÉS AUX ÉTATS-UNIS EN 2001 ET 2015 (CDC, 2016a)

Reported Cases of Lyme Disease -- United States, 2001



1 dot placed randomly within county of residence for each reported case

Reported Cases of Lyme Disease -- United States, 2015



1 dot placed randomly within county of residence for each confirmed case

ANNEXE 2 - STADES ET SYMPTÔMES DE LA MALADIE DE LYME (tiré de : Direction de santé publique du CIUSSS de l’Estrie – CHUS, 2017b)

Système	INFECTION PRÉCOCE		INFECTION TARDIVE
	Localisée (3 à 30 jours)	Disséminée (De quelques jours à trois mois après l'exposition)	Disséminée (Plus de trois mois après l'exposition)
	Stade 1	Stade 2	Stade 3
Peau	Érythème migrant (60 à 80 % des cas).	Lésions secondaires multiples (10 à 50 %), érythème, lésions urticariennes diffuses, lésions évanescences, épargnant les muqueuses et les surfaces palmaires et plantaires.	Acrodermatite chronique atrophiant, avec ou sans périostite ou atteintes articulaires associées, lymphocytome (en Europe seulement).
Musculo-squelettique	Myalgies et arthralgies diffuses.	Douleurs migratrices aux os, muscles, articulations, bourses, tendons, arthrite inflammatoire aiguë de courte durée ou intermittente (25 à 60 % aux États-Unis).	Arthrites inflammatoires aiguës prolongées, arthrite chronique (10 % aux États-Unis).
Neuro-logique	Raideur de la nuque.	Raideur de la nuque, méningite, névrite crânienne, paralysie faciale, radiculonévrite motrice ou sensitive (15 % aux États-Unis). Plus rarement : mononévrite multiplex, encéphalite (en Europe).	Polyradiculopathies axonales chroniques, atteinte discrète des fonctions mentales. En Europe seulement : encéphalomyélite chronique, paraparésie spastique, démarche ataxique.
Cardiaque		Bloc du noeud auriculo-ventriculaire, myopéricardite légère (5 à 10 % aux États-Unis). Pancardite et autres atteintes cardiaques plus graves (en Europe).	
Oculaire		Atteintes ophtalmologiques : conjonctivite, kératite, uvéite ou autres (10 % aux États-Unis). Névrite optique (enfants en Europe).	
Autres	Symptômes et signes constitutionnels : fatigue, céphalées, anorexie, fièvre. Lymphadénopathies régionales.	Fatigue, maux importants.	Fatigue, léthargie.

ANNEXE 3 - MEASURES DE PROTECTION QUI DOIVENT ÊTRE SUIVIES PAR LES PERSONNES QUI TRAVAILLENT AVEC LA PERMETHRINE À 10% (tiré de : DGEFH, 2012)

Workers should adhere to the following precautions and protective measures when working with 10% permethrin.^{47, 53, 54}

1. Use product only outdoors or in a well-ventilated area.
2. Wear long-sleeve shirts, long pants, chemical-resistant gloves, shoes, and socks.
3. Avoid breathing mist, vapors, and spray. Although respirators are not required, personnel may use NIOSH-approved P-class filtering face pieces and respirators to minimize risk of inhalation.
4. Wash hands thoroughly after handling the product and before eating, drinking, toileting, or smoking. Do not eat, drink, or smoke when using the product.
5. Avoid dermal contact, damaging the container, and cross contamination.
6. Store the product in a cool, well-ventilated place. Store upright at room temperature and avoid exposure to extreme temperatures. Do not store near heat or an open flame, and store away from food, feed, or children.
7. Obtain special instructions before use. Do not handle until all safety precautions, user safety recommendations, and first aid measures have been read and understood.

ANNEXE 4 - PROTOCOLE À SUIVRE EN CAS DE CONTACT AVEC LA PERMETHRINE À 10%

(tiré de : DGEFH, 2012)

HAZARD/EXPOSURE	FIRST AID MEASURE
Ingested:	Rinse mouth. Call a poison control center for advice.
Eyes:	Rinse eye gently with water for 15–20 minutes. If applicable and easy to do, remove contact lenses. Continue rinsing eye. Should eye irritation persist, seek medical advice.
Skin:	Wash with plenty of water and soap for 15–20 minutes. If skin irritation occurs, seek medical advice.
Clothing:	Remove contaminated clothing and wash before reuse. Contaminated work clothing must not be allowed out of the workplace.
Inhaled:	Remove the person to fresh air. If the person is not breathing, call 911 or an ambulance, then give artificial respiration, preferably by mouth-to-mouth, if possible. Call a poison control center for medical advice.

EMERGENCY/DISPOSAL	PROTOCOL
Pesticide fire:	Isolate the fire area, evacuate downwind. Refrain from breathing gases, smokes, or vapors. Wear self-contained breathing apparatus and full-protective clothing, and cool fire-exposed areas and equipment.
Disposal:	Dispose of excess or waste pesticide by use according to label directions, or contact your State Pesticide or Environmental Control Agency, or the Hazardous Waste representative at the nearest EPA Regional Office for guidance. Improper disposal of pesticides is a violation of Federal Law. Containers should be disposed of according to label instructions and local, state, and federal health and environmental regulations.

89

ACTIVE INGREDIENT: Permethrin*

INERT INGREDIENTS:

7.4%

92.6%

Total 100.0%

* Cis/trans ratio: Min. 35% (+/-) cis and max. 65% (+/-) trans

EPA Reg. No. 56783-1

EPA Est. No. 5693 MA1

KEEP OUT OF REACH OF CHILDREN

CAUTION

FIRST AID

If Swallowed	<ul style="list-style-type: none"> • Call a poison control center or doctor immediately for treatment advice. • Have person sip a glass of water if able to swallow. • Do not induce vomiting unless told to do so by a poison control center or doctor. • Do not give anything by mouth to an unconscious person.
If in eyes	<ul style="list-style-type: none"> • Hold eye open and rinse slowly and gently with water for 15-20 minutes. • Remove contact lenses, if present, after the first 5 minutes, then continue rinsing eye. • Call a poison control center or doctor for treatment advice.
If on skin or clothing	<ul style="list-style-type: none"> • Take off contaminated clothing. • Immediately rinse skin with plenty of water for 15-20 minutes. • Call a poison control center or doctor for treatment advice.

Have the product container or label with you when calling a poison control center or doctor, or going for treatment. You may call 1-800-422-1222 for emergency medical treatment information.

PRECAUTIONARY STATEMENTS

CAUTION: Harmful if swallowed. Avoid contact with eyes or clothing. Wash thoroughly with soap and water after handling and before eating, drinking, chewing gum or using tobacco.

DIRECTIONS FOR USE:

It is a violation of Federal law to use this product in a manner inconsistent with its labeling.

FOR OUTDOOR APPLICATION ONLY. For the reduction of ticks associated with the mic e that serve as reservoirs for pathogens causing Lyme disease and babesiosis. Ticks feeding on these animals become infected and may transmit disease to humans, dogs, and horses.

For best results, place tubes flat on the ground in all brush-covered and wooded areas to be treated. The maximum distance between tubes should not exceed 10 yards in any direction. Treatment should be limited to areas inhabited by mice, and need not include mown lawns or open grasslands. Tubes should be positioned so that mice have access to the open ends. Product works best if not covered by leaves or other material.

FOR TREATMENT AROUND YARDS: Place tubes within 1 yard of the edge of mown lawn, in flower gardens, under bushes and along fences, wherever mice may reside. For complete coverage, all brush-covered or wooded areas within 50 yards surrounding the yard area to be protected should be treated.

FOR TREATMENT OF WOODLOTS: Tubes should be placed in a contiguous array (such as a grid design), with no more than 10 yards between tubes in any direction. For complete coverage, apply tubes up to the brush-covered edge surrounding the woodlot. Tubes placed near thickets or rotting logs within the woodlot will be more effective than those placed in more open woodland terrain.

Tubers may be applied anytime between April 1 and mid-September, but should be applied at least twice a year. For best results, apply just prior to the feeding activity periods for nymphal (May-June) and larval (August-September) ticks. Tubers may also be replaced when nesting material is completely removed. The tubers and muscad cotton are biodegradable and may be left in the application site.

STORAGE AND DISPOSAL

Do not contaminate water, food or feed by storage.

STORAGE: Store at room temperature.

DISPOSAL: If empty: Non-refillable container. Do not reuse this container. Place in trash or offer for recycling if available. If partly filled: Call your local solid waste agency for disposal instructions. Never place unused product down any indoor or outdoor drain.

© 2015, ECOHEALTH, INC. 56 HAWES STREET, BROOKLINE, MASSACHUSETTS 02446 617-742-2400 CONTENTS: 24 Damminix Tubes, each containing 4.5 grams or .16 oz.

SELECT TCS Tick Control System

*TICK BOX
Technology
Corporation*

- CONTAINS TREATED WICKS WITH THE ACTIVE INGREDIENT FIPRONIL
- FOR USE BY PESTICIDE MANAGEMENT PROFESSIONALS AND PUBLIC HEALTH DEPARTMENT PERSONNEL FOR THE CONTROL OF TICKS WHICH MAY CARRY LYME DISEASE.

THIS LABELING MUST BE IN THE POSSESSION OF THE USER AT THE TIME OF PESTICIDE APPLICATION

ACTIVE INGREDIENTS:

Fipronil: 5-amino-1-(2,6-dichloro-4-(trifluoromethyl) Phenyl)-4-((1,R,S)-
(trifluoromethyl)sulfinyl)-1-H-pyrazole-3-carbonitrile. 0.70%
INERT INGREDIENTS 99.30%

The amount of A.I. per station is 25.5mg.

EPA Reg.No. 85306-1

EPA Est.No. 85306-CT-001

KEEP OUT OF REACH OF CHILDREN

CAUTION

For information on this pesticide product (including health concerns, medical emergencies, or pesticide incidents), call the National Pesticide Information Center at 1-800-858-7378, Monday through Saturday, 6:30a.m. to 4:30p.m. After 4:30p.m. Call your Poison Control Center at 1-800-222-1222

NET CONTENTS: 0.127 Ounces

FIRST AID

IF SWALLOWED	Call a poison control center or doctor immediately for treatment advice. Have a person sip a glass of water if able to swallow. Do not induce vomiting unless told to do so by a poison control center or doctor. Do not give anything by mouth to an unconscious person.
IF ON SKIN OR CLOTHING	-Take off contaminated clothing -Rinse skin immediately with plenty of water for 15-20 minutes. -Call a poison control center or doctor for treatment advice.
IF IN EYES	-Hold eye open and rinse slowly and gently with water for 15-20 minutes. Remove contact lenses, if present, after the first 5 minutes, then continue rinsing eye. -Call a poison control center or doctor for treatment advice.
IF INHALED	-Move person to fresh air -If person is not breathing, call 911 or an ambulance, then give artificial respiration, preferably mouth-to-mouth if possible. -Call a poison control center or doctor for further treatment advice.

HAVE THE PRODUCT CONTAINER OR LABEL WITH YOU WHEN CALLING A POISON CONTROL CENTER OR DOCTOR OR GOING FOR TREATMENT.

NOTE TO PHYSICIAN

There is no specific antidote. All treatments should be based on observed signs and symptoms of distress in the patient. Overexposure to materials other than this product may have occurred.

TICK BOX TECHNOLOGY CORPORATION
15 Chapel St. Norwalk, CT 06850

PRECAUTIONARY STATEMENTS HAZARDS TO HUMANS AND DOMESTIC ANIMALS

CAUTION

Harmful if absorbed through skin. Harmful if inhaled. Harmful if swallowed. Avoid contact with skin, eyes or clothing. Wash thoroughly with soap and water after handling and before eating, drinking, chewing gum, or using tobacco. Wear long sleeved shirt and long-pants, socks and gloves. Remove and wash contaminated clothing before reuse.

ENVIRONMENTAL HAZARDS

This pesticide is toxic to birds, fish, and aquatic invertebrates. Do not apply directly to water, or to areas where surface water is present or to intertidal areas below the mean high water mark. Care must be taken to avoid runoff. Do not contaminate water by cleaning equipment or disposal of wastes. Do not contaminate water when disposing of equipment wash waters.

STORAGE AND DISPOSAL

Do not contaminate water, food or feed by storage or disposal.

Storage: Store unused boxes out of reach of children and animals. Store away from heat or sunlight.

Pesticide Disposal: Pesticide wastes are acutely hazardous. Improper disposal of excess pesticide is a violation of Federal Law. If these wastes cannot be disposed of by use according to label instructions, contact your State Pesticide or Environmental Control Agency, or the Hazardous Waste representative at the nearest EPA Regional Office for guidance.

Container Disposal: Used rodent boxes (in use for three months or more) should be disposed of in a sanitary landfill or by incineration, or, if allowed by State and local authorities, by burning. If burned, stay out of smoke.

DIRECTIONS FOR USE

It is a violation of Federal law to use this product in a manner inconsistent with its labeling. SELECT TCS Tick Control System is used for the control of ticks which may carry Lyme disease.

General

This product consists of three components: 1) a child-resistant rodent bait box, 2) nontoxic bait block attractants, and 3) an applicator impregnated with 0.70% fipronil which are all prepacked and ready to use. Rodents (principally mice and chipmunks) that enter the box to feed or investigate are treated with fipronil as they come in contact with the applicator. This tick control method interrupts the transmission cycle of Lyme disease. Boxes are placed in locations in early spring for three months, then replaced with new boxes for an additional three months.

How and Where to Apply

Most cases of Lyme disease are due to tick bites acquired on homeowner's properties. SELECT TCS Tick Control System rodent boxes are placed in areas of yards inhabited by white-footed mice and chipmunks. The number of boxes and pattern of placement will average 10 per 1/2 to 1 acre-sized property, although depending on the size of the lot and amount of natural vegetation present, the total number of units required is variable. In general, rodents are most abundant in woodlots and along the edge of natural vegetation where it meets maintained lawn. Boxes are placed a minimum of 10 meters (30 feet) apart near the edge of maintained landscaping and woodlots and/or brush. For woodlots that extend farther than 40 feet an additional row of units should be considered for maximum control. The second row should be placed 30-40 feet from the first set of boxes. Stonewalls provide excellent harborage for rodents, as well as brush piles, boulders, stumps, fallen logs and outbuildings. These structures should be considered into the pattern of application. The same principles of SELECT TCS Tick Control System treatment regimens also apply to worksite and recreational settings. After inspecting a property and

deciding the pattern and placement sites, SELECT TCS Tick Control System units may be easily secured in place with a wide variety of stakes, nylon anchor ties, nails, staples or wire.

When to Apply

Typically, nymphs seek animals to feed upon from April through July/August and larvae from July through September/October. Killing nymphs in the spring and summer reduces the number of adults that emerge in the fall. Killing larvae in the summer and fall reduces the number of nymphs that emerge the following spring. In order to achieve the greatest level of tick control, SELECT TCS Tick Control System should be set out in mid-April/May and maintained until the end of September. Each unit is designed to attract rodents and effectively apply fipronil for a period of 90 days. Thus, two treatments of SELECT TCS Tick Control System are required to manage immature ticks for a full season. The first treatment should be applied in April or May and after 75-90 days these units are replaced with an equal number of new units.

Additional Tips:

- It is suggested that units be set at least ten feet back from the edge of maintained lawns, driveways and streets to prevent damage by mowing equipment and vehicles.
- Impervious rubber gloves must be worn when working with the SELECT TCS Tick Control System.
- Trim back new growth on vegetation in the immediate vicinity of boxes so that their locations remain unobscured, or mark each box placed in dense vegetation with a visual aid.
- Keep records for numbers and locations of bait boxes set out, dates of maintenance and amounts of materials used for each property.
- Show the property owner where boxes are placed.
- At the end of the treatment period, SELECT TCS Tick Control System boxes should be gathered and disposed of according to Federal, State and Local regulations using rubber disposable gloves.
- Do not place boxes in any part of open lawn. Do not place boxes in open areas beyond the maintained yard in direct sunlight and in absence of surrounding vegetation or structural cover.
- Record the date of deployment on the appropriate space on the label.
- It is suggested that each box location be marked with an engineer's flag or by a length of colored tape tied to nearby vegetation for ease of relocation.
- During replacement and removal of used boxes, a half-mask air purifying respirator with a N-95 or N-100 filter type and rubber gloves should be worn. This is a precaution against the unlikely but possible exposure to mouse-borne hantavirus.
- Each SELECT TCS Tick Control System unit that is removed from a property should be placed in a large plastic bag; tie or tape the bag closed after it contains 10-15 units and before it is transported from the application site.
- Bags of used boxes can be disposed of in accordance with the Storage and Disposal directions on the label.

051704B

TICK BOX TECHNOLOGY CORPORATION

15 Chapel St.
Norwalk, Connecticut 06850

ANNEXE 7 - FICHE TECHNIQUE SUR LES EXIGENCES EN MATIÈRE D'IMPORTATION COMMERCIALE DE PRODUITS ANTIPARASITAIRES (tiré de : Santé Canada, 2009b)

Le présent document vise à vous informer sur les exigences relatives à l'importation de produits antiparasitaires, notamment les produits destinés à la vente, à la fabrication et à la recherche.

Tous les pesticides importés au Canada doivent satisfaire aux exigences du pays, c'est-à-dire qu'ils doivent être inscrits aux annexes de la *Loi sur les produits antiparasitaires* (LPA) ou être homologués en vertu de la même loi, et porter une étiquette canadienne.

1. La LPA définit ainsi les produits antiparasitaires : « produits, organismes, substances, dispositifs ou autres objets fabriqués, présentés, vendus ou utilisés comme moyens de lutte directs ou indirects - par prévention, destruction, limitation, attraction, répulsion ou autre - contre les parasites. Sont compris parmi ces produits :
 - a. les composés ou substances de nature ou destinés à renforcer ou modifier leurs caractéristiques physiques ou chimiques;
 - b. les ingrédients actifs servant à leur fabrication. »
2. Un produit antiparasitaire peut être un produit chimique, un dispositif ou un microorganisme.
3. Parmi les produits antiparasitaires chimiques on compte :
 - les fongicides
 - les poudres anti-puces et anti-tiques
 - les rodenticides
 - les répulsifs à animaux
 - les agents de préservation du bois
 - les étiquettes d'oreille insectifuges pour bovins
 - les produits chimiques pour piscines
 - les insectifuges les insecticides
 - les herbicides
 - les peintures antisalissures
4. Parmi les dispositifs on trouve :
 - ceux qui sont utilisés pour repousser les organismes nuisibles par contact ou émission d'ondes sonores ou électromagnétiques;
 - les dispositifs algicides ou bactéricides pour piscine.
5. Les produits microbiens sont des produits à base de microorganismes.

On définit comme microorganisme tout organisme trop petit pour être visible à l'oeil nu, notamment les bactéries, les virus, les champignons microscopiques, les protozoaires, les mycoplasmes ou les rickettsies destinés à la lutte antiparasitaire.

Nota : Les microorganismes non recommandés pour la lutte antiparasitaire ne sont pas assujettis aux exigences de la *Loi sur les produits antiparasitaires* mais peuvent être assujettis à d'autres exigences concernant les microbes ou les microorganismes en vertu d'autres lois fédérales.

6. Les importations non commerciales sont destinées à l'utilisation et à la consommation personnelles de l'importateur et non à la revente. Les produits

antiparasitaires chimiques et les dispositifs qui ne sont pas homologués au Canada peuvent être importés en autant que :

- le poids total ou le volume du produit antiparasitaire importé ne dépasse pas 500 g ou 500 mL;
- la valeur monétaire ne dépasse pas 100 \$ CAN.

7. Aucune exemption aux exigences ne s'applique aux importations commerciales

Les receveurs des douanes accorderont la mainlevée seulement sur production de documents exigés.

Déclaration de l'importateur de produits antiparasitaires

Veuillez suivre les instructions inscrites au formulaire.

Il existe présentement plusieurs versions du formulaire et elles sont toutes acceptables. Il s'agit des formulaires :

- AGR 1169
- HC/SC 2110-01
- HC/SC 6018 (pdf)
imprimer sur papier 8½ x 14

Pour plus de renseignements sur l'importation de produits antiparasitaires, communiquez avec l'agent de pesticides du bureau de l'ARLA dans votre région.

Région de l'Atlantique : Moncton, Charlottetown ou Kentville

Région du Québec : Montréal

Région de l'Ontario : Guelph ou London

Région du Manitoba : Winnipeg

Région de la Saskatchewan : Régina ou Saskatoon

Région de l'Alberta : Calgary, Lethbridge ou Edmonton

Région de la Colombie-Britannique : New Westminster ou Kelowna